



SKRIPSI - ME141501

# **PENGEMBANGAN PROTOTIPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR UV**

Haris Nur Fauzi  
NRP 4213 100 019

**Dosen Pembimbing**  
Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.  
Dr. rer. nat. Maya Shovitri. M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



**SKRIPSI - ME 141501**

# **PENGEMBANGAN PROTOTIPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR UV**

Haris Nur Fauzi  
NRP 4213 100 019

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.  
Dr. rer. nat. Maya Shovitri. M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**SKRIPSI - ME 141501**

# **DEVELOPMENT OF BALLAST WATER TREATMENT PROTOTYPE USING APPLICATION OF CRUMB RUBBER FILTRATION AND UV RADIATION**

Haris Nur Fauzi  
NRP 4213 100 019

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.  
Dr. rer. nat. Maya Shovitri. M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGEMBANGAN PROTOTIPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR UV

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Lab Reliability, Availability, Maintenance and Safety  
Program Studi S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

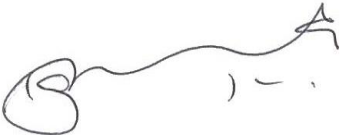
Oleh :  
**HARIS NUR FAUZI**  
NRP : 4213100019

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.

(  )

Dr. rer. nat. Maya Shovitri. M.Sc.

(  )

**SURABAYA**  
**JULI, 2017**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGEMBANGAN PROTOTYPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR UV

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Lab Reliability, Availability, Maintenance and Safety  
Program Studi S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**HARIS NUR FAUZI**

NRP : 4213100019

Disetujui Oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., MT.

NIP. 197708022008011007

**SURABAYA  
JULI, 2017**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **PENGEMBANGAN PROTOTIPE SISTEM PENGOLAHAN AIR BALAS DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI FILTRASI KARET REMAH DAN RADIASI SINAR UV**

**Nama Mahasiswa : HARIS NUR FAUZI**  
**NRP : 4213100019**  
**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan ITS**  
**Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.**  
**Dosen Pembimbing 2 : Dr. rer. nat. Maya Shovitri. M.Sc.**

## **Abstrak**

Air balas sangat penting untuk mengontrol trim, sarat, stabilitas dan tegangan pada lambung kapal yang disebabkan oleh kondisi laut yang merugikan atau akibat dari perubahan berat kargo. Namun selain memberikan dampak yang positif bagi kapal air balas dapat menyebabkan ancaman besar bagi lingkungan, kesehatan masyarakat dan ekonomi. Hal ini diakibatkan oleh persebaran *Invasive Alien Species* (IAS) atau *Harmful Aquatic Organism and Pathogens* (HAOP) melewati medium air balas. Sebagai sebuah usaha untuk menangani permasalahan tersebut maka pada penelitian ini dilakukan studi pengembangan prototipe pengolah air balas dengan menggunakan kombinasi filtrasi karet remah dan radiasi sinar ultraviolet. Konsep sederhana yang digunakan dalam pengembangan prototipe ini adalah dengan mengalirkan sampel air laut dari pantai Kenjeran Surabaya dengan debit 5 lpm, 10 lpm dan 20 lpm ke dalam filtrasi alternatif karet remah dan reaktor UV. Pada tahap penyaringan, air laut disaring oleh karet remah yang berbentuk kotak dengan dimensi 125 mm<sup>3</sup> yang diisikan ke dalam rumah filter yang memiliki diameter 6,5 cm dan kedalaman 20 cm, sedangkan dalam reaktor UV air laut disinari oleh sinar UV-C dengan dosis maksimal sebesar 16,58 mW/cm<sup>2</sup>. Setelah dilakukan pengolahan selanjutnya sampel air dianalisa menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dan metode Turbiditas. Dari pengamatan tersebut didapatkan hasil bahwa prototipe dapat menginaktivasi 99% mikroba air patogen pada sampel air laut Kenjeran.

**Kata kunci :** prototipe pengolah air balas kapal, karet remah, UV-C, IMO Ballast Water Management Convention

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **DEVELOPMENT OF BALLAST WATER TREATMENT PROTOTYPE USING APPLICATION OF CRUMB RUBBER FILTRATION AND UV RADIATION**

**Name of Student** : HARIS NUR FAUZI  
**NRP** : 4213100019  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
**Lecture Consellor 1** : Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.  
**Lecture Consellor 2** : Dr. rer. nat. Maya Shovitri. M.Sc.

### **Abstract**

Water ballast is essential to control trim, depth, stability and tension on the hull of a ship caused by adverse ocean conditions or as a result of changes in cargo weight. But besides giving positive impact for ship, ballast water can make major threats for environment, public health and economy. This problem is due to the spread of Invasive Alien Species (IAS) or Harmful Aquatic Organism and Pathogens (HAOP) through ballast water medium. As an effort to handle that problem, in this research was conducted a study of the development of ballast water treatment prototype using combination of crumb rubber filtration and ultraviolet radiation. Simple concept used in the development of this prototype is by draining seawater sample from Kenjeran beach Surabaya with capacity of 5 lpm, 10 lpm and 20 lpm into crumb rubber filtration and UV reactor. At the filtration process, seawater is filtered by square crumb rubbers with dimension of 125 mm<sup>3</sup> that loaded into a filter house that have diameter of 6.5 cm and a depth of 20 cm. While in the UV reactor sea water is exposed to UV-C light with maximum dose of 16, 58 mW / cm<sup>2</sup>. After the treatment process was done, then the water sample is analyzed using Total Plate Count (TPC) method and turbidity method. From these observations, it was found that the prototype can inactivate 99% of microbial water pathogens in Kenjeran sea water samples.

**Keywords** : Ballast water treatment, Crumb Rubber, UV-C, IMO Ballast Water Management Convention

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengembangan Prototipe Sistem Pengolahan Air Balas Dengan Menggunakan Aplikasi Filtrasi Karet Remah Dan Radiasi Sinar UV”.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada pihak-pihak dibawah ini,

1. Ibu dan Bapak yang dengan sabar dan gigih selalu mendukung secara moral dan spiritual kepada penulis selama proses belajar hingga pada bangku perkuliahan. Semoga Allah meridhai kebaikan Ibu dan Bapak.
2. Bapak Trika Pitana sebagai dosen pembimbing satu yang telah memberikan ide, gagasan dan pemikirannya dalam proses penelitian ini berlangsung.
3. Ibu Maya Shovitri sebagai dosen pembimbing dua yang telah memberikan ilmu mikrobiologinya kepada penulis sehingga penulis dapat memahami dan menjalankan pengamatan mikroba air patogen pada air balas.
4. Bapak Ir. H. Alam Baheamsyah, M.Sc selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan motivasinya kepada penulis.
5. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Indonesia yang telah memberikan bantuan dana penelitian melewati program Penelitian Dana Lokal ITS.
6. Titi Rindi Antika yang telah membantu penulis dalam melaksanakan pengamatan kuantitatif mikroba air patogen pada air balas.
7. Farida Nur Azizah sebagai rekan seperjuangan dalam mencari ridha Allah yang menjadi penyemangat penulis selama proses belajar.
8. Barakuda 13 yang telah memberikan berbagai macam bantuannya kepada penulis selama proses penelitian berlangsung.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga Penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada penulis dan pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GRAFIK.....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat penulisan.....	2
1.6 Roadmap Penelitian .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Balas Kapal .....	5
2.2 Mikroba Air Patogen Pada Air Balas .....	5
2.3 Peraturan Manajemen Air Balas Kapal.....	7
2.4 Sistem Pengolahan Air Balas Kapal.....	9
2.5 Sistem Pengolahan Air Balas Kapal Menggunakan Aplikasi Filtrasi Karet Remah .....	9
2.6 Sistem Pengolahan Air Balas Kapal Menggunakan Aplikasi Radiasi Ultraviolet .....	10
2.7 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya ( <i>State of the Art</i> ) .....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Identifikasi dan perumusan masalah kandungan mikroorganisme air patogen dari origin port ke destination port .....	20



3.2 Studi literatur tentang sistem pengolahan air balas yang dapat menghancurkan mikroba air patogen jenis escherichia coli dan vibrio cholerae.....	20
3.3 Merancang prototipe sistem pengolahan air balas dengan menggunakan aplikasi filtrasi karet remah dan radiasi sinar ultraviolet.....	20
3.4 Eksperimen pengolahan air balas menggunakan prototipe prototipe pengolah air balas.....	22
3.5 Analisa kandungan mikroba air patogen jenis escherichia coli dan vibrio cholerae pada sampel air balas sebelum diolah dan setelah diolah pada prototipe sistem pengolahan air balas .....	22
<b>BAB IV RANCANG BANGUN PROTOTIPE .....</b>	<b>27</b>
4.1 Umum.....	27
4.2 Desain Prototipe Alat Pengolah Air Balas Kapal.....	27
<b>BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
5.1 Umum.....	45
5.2 Kandungan Mikroba dalam Air Laut Pada Kondisi Eksisting .....	45
5.3 Pengaruh Filtrasi Dan Penyinaran UV Terhadap Kandungan Mikroba Dalam Air Laut .....	46
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Road Map Penelitian .....	3
Gambar 2. 1 Spektrum Elektromagnetik Sinar UV .....	10
Gambar 2. 2 Hamburan pola sinar UV pada partikel.....	12
Gambar 2. 3 Kurva laju inaktivasi <i>S. aureus</i> .....	15
Gambar 2. 4 Kurva laju inaktivasi <i>Chlorella</i> .....	15
Gambar 2. 5 Kurva laju inaktivasi <i>S. aureus</i> dan <i>Chlorella</i> .....	16
Gambar 4. 1 Diagram Kerja Prototipe Pengolah Air Balas .....	27
Gambar 4. 2 Desain Rangka Prototipe.....	28
Gambar 4. 3 Desain Tangki Air Balas .....	28
Gambar 4. 4 Desain Reaktor UV .....	29
Gambar 4. 5 Desain Flange & Squartz Sleeve.....	29
Gambar 4. 6 Desain Panel Listrik .....	30
Gambar 4. 7 Desain Flow mete.....	30
Gambar 4. 8 Desain Housing Filter.....	31
Gambar 4. 9 Desain Elbow .....	31
Gambar 4. 10 Desain Union.....	32
Gambar 4. 11 Piping Assembly Tampak Depan .....	32
Gambar 4. 12 Piping Assembly Tampak Belakang .....	33
Gambar 4. 13 Piping Assembly Tampak Atas .....	33
Gambar 4. 14 Piping Assembly Tampak Samping .....	34
Gambar 4. 15 Technical Drawing Assembly Prototipe Tampak Depan .....	34
Gambar 4. 16 Technical Drawing Assembly Prototipe Tampak Belakang .....	35
Gambar 4. 17 Technical Drawing Assembly Prototipe Tampak Samping .....	35
Gambar 4. 18 Technical Drawing Assembly Prototipe 3D.....	36
Gambar 4. 19 Diagram Moody .....	38
Gambar 4. 20 Diagram Moody .....	40
Gambar 4. 21 Diagram Moody .....	42
Gambar 5. 1 Mikroba pada sampel air laut di Kenjeran .....	45
Gambar 5. 2 Mikroba pada sampel air laut di Tanjung Perak.....	46

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jumlah Kandungan Mikroba dalam Air Balas (Lloyd's Register's).....	9
Tabel 2.2 karakteristik lampu UV-C (EPRI, 1999).....	11
Tabel 2.3 Hubungan variasi debit air balas dengan efektifitas penyaringan.....	13
Tabel 2.4 Hubungan variasi debit air balas dengan fektifitas penyaringan.....	14
Tabel 2.5 Persentase pengurangan jumlah bakteri dan mikroba hasil dari radiasi sinar UV dengan dosis 20 mW/cm <sup>2</sup> /sec (SWRCB, 2002). ....	17
Tabel 2.6 contoh perhitungan jumlah bakteri pada cawan 1 .....	24
Tabel 2.7 contoh perhitungan jumlah bakteri pada cawan 2.....	25
Tabel 5.1 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karbon.....	46
Tabel 5.2 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karet Remah .....	47
Tabel 5.3 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karbon.....	49
Tabel 5.4 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karet Remah .....	50
Tabel 5.5 Simulasi perhitungan biaya pembangunan alat pengolah air balas kapal .....	55
Tabel 5.6 Estimasi biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas kapal .....	55

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1 Pengamatan TPC Dengan Air Laut Steril Pada Filtrasi Karbon Dan UV .....	48
Grafik 5.2 Pengujian Turbiditas Dengan Blanko Aquades .....	51
Grafik 5.3 Pengujian Turbiditas dengan blanko air laut steril .....	52
Grafik 5.4 Harga investasi pembangunan alat pengolah air balas sebagai fungsi dari kapasitas pengolahan air balas (Henrik Bachér,2013) .....	54
Grafik 5.5 Komparasi biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas kapal .....	56

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Air balas sangat penting untuk menjaga keamanan operasional kapal. Air balas berfungsi untuk mengontrol trim, sarat, stabilitas dan tegangan pada lambung kapal yang disebabkan oleh kondisi laut yang merugikan atau akibat dari perubahan berat kargo (*Ballast Water Management IMO Convention*, 2004). Menurut *European Maritime Safety Agency* (2013), selain memberikan dampak yang positif bagi kapal air balas dapat menyebabkan ancaman besar bagi lingkungan, kesehatan masyarakat dan ekonomi. Hal ini dapat terjadi ketika air balas diambil dari pelabuhan yang banyak mengandung organisme mikroskopis dan sedimen akan banyak organisme yang ikut masuk ke dalam tangki balas di kapal. Organisme yang mampu hidup di dalam tangki kapal hingga saat proses pembongkaran air balas akan dilepaskan ke lingkungan baru. Jika kondisi lingkungan air balas rilis mendukung kehidupan organisme, maka organisme tersebut akan bertahan hidup dan dapat bereproduksi menjadi spesies *invasif* yang dapat menyebabkan kepunahan spesies asli, menumbulkan dampak terhadap keanekaragaman hayati lokal atau regional, dampak terhadap kesehatan dan dampak terhadap masyarakat ekonomi lokal berbasis pada perikanan.

Untuk menanggulangi pencemaran akibat pembuangan air balas, maka pada tahun 2004 IMO mengeluarkan peraturan mengenai manajemen pengolahan air balas kapal yang tertulis dalam *IMO Ballast Water Management Convention*. Menurut peraturan ini air balas yang hendak dibuang ke laut harus diolah hingga memenuhi standar IMO. Indonesia sebagai negara yang terpilih kembali menjadi dewan IMO kategori C yang disahkan pada *Assembly ke-29 International Maritime Organization (IMO)* di London pada tanggal 27 Nopember 2015 memiliki tanggung jawab yang besar untuk menjaga kelestarian laut dan mencegah terjadinya pencemaran akibat operasional kapal. Komitmen Indonesia dalam menjaga kelestarian laut ini ditunjukkan pada kebijakan Indonesia yang akan meratifikasi *IMO Ballast Water Management Convention* pada tahun 2017. Dengan adanya ratifikasi ini akan membawa kepastian hukum yang akan melindungi laut Indonesia dari *Invasive Alien Species (IAS)* atau *Harmful Aquatic Organism and Pathogens (HAOP)*.

Untuk memenuhi persyaratan dalam *IMO Ballast Water Management Convention*, maka dikembangkan metode pengolahan air balas di dalam kapal, diantaranya adalah menggunakan filtrasi dan penyinaran UV. Untuk menindak lanjuti penelitian yang dikembangkan tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan studi mengenai desain dan rancang bangun prototipe sistem pengolahan air balas menggunakan aplikasi filtrasi alternatif menggunakan karet remah dan radiasi sinar ultraviolet untuk menghancurkan mikroba air patogen. Dengan adanya penelitian ini akan diketahui bagaimana kinerja karet remah ketika digunakan sebagai filter air balas, dan diketahui pula bagaimana desain reaktor uv pada sistem

pengolahan air balas yang dapat bekerja secara efektif dan efisien serta dapat menghasilkan air olahan yang terstandarisasi oleh *IMO Ballast Water Management Convention*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Salah satu dasar dari penelitian ini adalah sebagai upaya untuk membuat produk sistem pengolahan air balas dengan menggunakan metode filtrasi dan radiasi sinar ultraviolet skala lab yang dapat bekerja dengan efektif dan efisien, serta dapat menghasilkan air olahan yang terstandarisasi oleh *IMO Ballast Water Management Convention*. Berdasarkan penjelasan tersebut maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana desain sistem pengolahan air balas dengan menggunakan metode filtrasi dan radiasi sinar ultraviolet skala lab yang dapat bekerja secara efektif dan efisien dan menghasilkan air olahan yang terstandarisasi oleh *IMO Ballast Water Management Convention*.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah pengukuran kinerja prototipe sistem pengolahan air balas metode filtrasi dan radiasi sinar ultraviolet dalam inaktivasi mikroba air patogen yang didasarkan pada pengamatan tingkat kematian mikroba air patogen dalam air balas.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Membuat prototipe sistem pengolahan air balas dengan menggunakan metode filtrasi dan radiasi sinar UV.
2. Mengetahui dosis radiasi sinar ultraviolet yang dibutuhkan untuk mematikan mikroba air laut patogen dalam air balas
3. Mengetahui hubungan antara debit air balas dengan pemberian dosis radiasi sinar ultraviolet pada proses pengolahan air balas

## 1.5 Manfaat penulisan

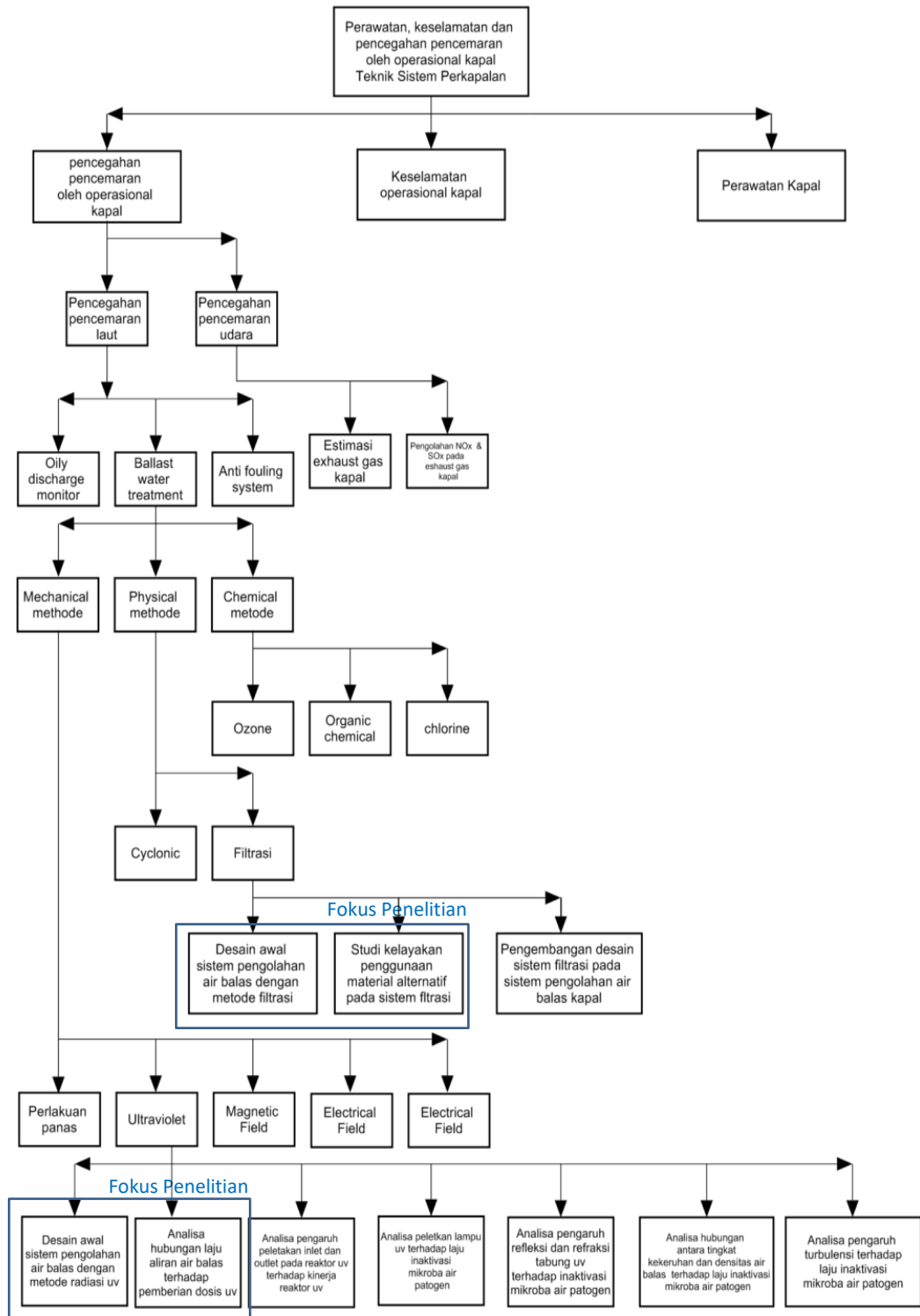
Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Menghasilkan prototipe sistem pengolahan air balas skala lab yang dapat digunakan sebagai role model pembelajaran pengembangan alat pengolah air balas.
2. Memberikan informasi mengenai dosis penyinaran lampu ultraviolet yang tepat untuk dapat mematikan mikroba air laut patogen yang terdapat di dalam air balas.

## 1.6 Roadmap Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan bagian dari road map penelitian yang membahas tentang perawatan, keselamatan dan pencegahan pencemaran oleh operasional kapal yang akan dilakukan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Berikut adalah fokus penelitian yang akan dilaksanakan pada penelitian ini.





Gambar 1.1 Road Map Penelitian

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Balas Kapal

Balas adalah air yang disimpan dalam tangki balas kapal yang digunakan untuk meningkatkan stabilitas kapal, keseimbangan, dan trim kapal. Balas diambil atau dibuang dari kapal ketika kapal sedang dalam proses bongkar atau muat, atau ketika kapal membutuhkan stabilitas ekstra saat cuaca buruk. Selain memberikan dampak yang positif bagi kapal, air balas juga dapat menyebabkan ancaman yang besar bagi lingkungan, kesehatan masyarakat dan ekonomi (*European Maritime Safety Agency, 2013*). Hal ini dikarenakan air balas yang dikeluarkan oleh kapal – kapal asing banyak mengandung *Invasive Alien Species* (IAS) atau *Harmful Aquatic Organism and Pathogens* (HAOP). IAS dan HAOP yang dikeluarkan bersama dengan air balas akan tumbuh menjadi spesies *invasif* yang dapat menyebabkan kepunahan spesies asli hingga menyebabkan kerugian dibidang ekonomi dan kesehatan.

#### 2.2 Mikroba Air Patogen Pada Air Balas

Mikroorganisme patogen adalah suatu mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit pada inang mikroorganisme tersebut. Air laut merupakan salah satu medium yang dapat menyebarkan mikroorganisme patogen. Mikroorganisme ini dapat menyebabkan bahaya secara langsung maupun tidak langsung bagi lingkungan yang tercemar olehnya. Bahaya secara langsung dirasakan oleh manusia yang beraktifitas atau kontak langsung dengan air yang tercemar oleh mikroba ini. Dengan adanya kontak langsung dengan air yang telah tercemar, maka mikroba tersebut akan berpeluang untuk menjangkit manusia sehingga akan dapat mengganggu kesehatan manusia tersebut. Bahaya secara tidak langsung dapat disebabkan ketika manusia mengonsumsi makanan laut yang telah tercemar atau terinfeksi oleh mikroba air patogen. Mikroba yang terdapat di dalam makanan tersebut akan berpindah ke dalam tubuh manusia dan akan bereproduksi secara berkala sehingga akan menyebabkan gangguan kesehatan pada tubuh manusia yang terjangkit olehnya. Beberapa mikroba air patogen yang sering ditemukan di dalam air adalah bakteri – bakteri penyebab infeksi saluran pencernaan seperti kelompok *Enterobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Escherichia coli*, *Proteus*, *Providencia*.

##### Enterobacter

*Enterobacter* merupakan kelompok gram negatif berbentuk batang dan merupakan bakteri yang paling umum menyebabkan penyakit. Karakteristik *Enterobacteriaceae* diantaranya berbentuk batang tumbuh dalam media kaldu daging, tumbuh dengan baik pada agar *Mac Concey*, tumbuh secara aerobik dan anaerobik, lebih sering memfermentasi dari pada mengoksidasi glukosa terkadang dengan memproduksi gas, menunjukkan katalase positif, oksidasi negatif, dan mereduksi nitrat menjadi nitrit. Kelompok utama *Enterobacteriaceae* digambarkan dan didiskusikan secara jelas dengan karakteristik khusus *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Escherichia coli*, *Proteus*, *Providencia* (Jawetz, 2005 ).

### *Escherichia coli*

*Escherichia coli* merupakan bakteri yang dapat bersifat patogen, bertindak sebagai penyebab utama morbiditas dan mortalitas diseluruh dunia (Tenailon *et al.*, 2010). *Escherichia coli* diisolasi pertama kali oleh Theodore Escherich pada tahun 1885 dari tinja seorang bayi (Merchant dan Parker, 1961). *E. coli* merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang pendek yang memiliki panjang sekitar 2  $\mu\text{m}$ , diameter 0,7  $\mu\text{m}$ , lebar 0,4-0,7  $\mu\text{m}$  dan bersifat anaerob fakultatif. *E. coli* membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang nyata (Smith Keary, 1988; Jawetz *et al.*, 1996). Pada umumnya bakteri memerlukan kelembaban yang cukup tinggi sekitar 85% (Madigan dan Martinko, 2005). *Escherichia coli* merupakan golongan bakteri mesofilik yaitu bakteri yang suhu pertumbuhan optimumnya 15-45°C dan dapat hidup pada pH 5,5-8. *E. coli* akan tumbuh secara optimal pada suhu 27° C. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hawa *et al.* (2011), *E. coli* memiliki suhu maksimum pertumbuhan 40-45°C, di atas suhu tersebut bakteri akan mengalami inaktivasi. *Escherichia coli* biasanya berkolonisasi di saluran pencernaan dalam beberapa jam setelah masuk ke dalam tubuh dan membangun hubungan mutualistik. Namun, strain non-patogenik dari *E. coli* bisa menjadi patogen, ketika adanya gangguan di dalam pencernaan

*Vibrio Cholerae* ditemukan oleh Filippo Pacini pada tahun 1854. Pada penemuannya disebutkan bahwa bakteri ini menjadi penyebab utama dari penyakit kolera. *Vibrio Cholerae* merupakan bakteri yang masuk dalam *family Vibrionaceae* yang banyak ditemukan di permukaan air yang terkontaminasi oleh feces yang mengandung bakteri tersebut. Bakteri ini menyebabkan penyakit kolera yang penularannya sebagian besar disebabkan melalui air dan makanan yang telah terkontaminasi olehnya. Bakteri ini memiliki bentuk seperti koma, namun ketika tumbuh akan menjadi batang lurus. *Vibrio Cholerae* merupakan bakteri *anaerob fakultatif*, atau dapat hidup dan berkembang pada kondisi aerob dan anaerob. Bakteri ini hidup pada keadaan basa pH 8 – 9,5, dengan suhu 18 – 37°C. Bakteri *Vibrio Cholerae* akan mengeluarkan *enterotoksin* atau racunnya di saluran usus sehingga terjadinya diare yang dapat berakibat pada kehilangan banyak cairan tubuh atau dehidrasi. Jika dehidrasi tidak segera ditangani atau mendapatkan penanganan yang tepat dapat berlanjut ke arah *hipovolemik* dan asidosis metabolik sampai akhirnya menyebabkan kematian. *Hipovolemik* merupakan kondisi medis atau bedah di mana terjadi kehilangan cairan dengan cepat yang berakhir pada kegagalan beberapa organ.

### *Bakteri E. coli dan Enterobacter Dalam Perairan Air Laut*

*Enterobacter* di perairan laut telah banyak diteliti oleh ilmuwan selama beberapa dekade. Didorong oleh masalah kesehatan masyarakat yang jelas serta dengan upaya yang lebih luas untuk memahami tanggapan bakteri terhadap stres lingkungan, banyak penelitian telah mengeksplorasi *Escherichia coli* dan bakteri enterik lainnya dalam eksposur mereka ke air laut.

Banyak dari upaya ini termotivasi oleh kebutuhan untuk mengevaluasi risiko yang ditimbulkan oleh mikroorganisme seperti ketika dilepaskan ke laut, baik untuk kesehatan perairan, rekreasi atau untuk keselamatan perikanan atau pertanian laut. Akibatnya, coliform berbasis pada tingkat pembentukan koloni mati sering

digunakan sebagai parameter untuk mengkarakterisasi respon bakteri, di bawah berbagai kondisi pengujian biotik dan abiotik.

Ketika bakteri enterik terkena air laut mereka secara bersamaan ditantang oleh kombinasi faktor stres, termasuk pH, suhu, salinitas, ketersediaan hara dan radiasi cahaya. Salinitas sendiri tampaknya kurang signifikan, ketika diberikan dengan nutrisi organik yang cukup, *E. coli* dapat tumbuh di air laut hampir sama juga seperti halnya media laboratorium (Jannasch, 1968). Umumnya nilai pH rendah dan suhu berkontribusi terhadap peningkatan kelangsungan hidup.

## 2.3 Peraturan Manajemen Air Balas Kapal

*International Maritime Organisation* (IMO) yang bergerak dalam bidang keselamatan, keamanan, dan kinerja lingkungan pelayaran internasional telah menaruh perhatian mengenai masalah pencemaran yang diakibatkan oleh perpindahan mikroorganisme melalui air balas. Pada tanggal 13 Februari 2004, IMO mengadakan “*International Convention for the Control and Management of Ships’ Ballast Water and Sediments*”. Tujuan dari konvensi tersebut adalah untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan laut yang disebabkan oleh mikroorganisme yang terbawa oleh air balas pada kapal, yang dilakukan dengan cara mengharuskan semua kapal untuk mengaplikasikan *Ballast Water and Sediments Management Plan*.

Dari konvensi ini lahir berbagai aturan mengenai pengolahan air balas kapal. Aturan ini kemudian dikenal dengan nama ANNEX, yang terdiri dari lima bagian yaitu ANNEX A hingga ANNEX E.

ANNEX bagian A membahas mengenai ketentuan umum. Di dalam peraturan ini disebutkan bahwa “Kecuali secara tegas dinyatakan lain, maka pembuangan air balas harus melalui suatu sistem pengelolaan air balas sesuai dengan aturan pada ANNEX ini”.

ANNEX bagian B membahas mengenai syarat manajemen dan kontrol air balas pada kapal. Peraturan – peraturan yang harus ditaati di dalam ANNEX ini diantaranya sebagai berikut

- Kapal harus memiliki sistem penanganan air balas yang telah disetujui oleh pihak yang berwenang.
- Kapal harus memiliki log book untuk mencatat waktu pengambilan, penanganan, dan pembuangan air balas.
- Kapal yang dibangun sebelum tahun 2009 dengan kapasitas tangki air balas setara 1500 dan 5000 m<sup>3</sup> harus memenuhi standar penanganan air balas dengan menggunakan metode pertukaran air atau standar performa air balas hingga tahun 2014. Kapal yang dibangun sebelum tahun 2009 dengan kapasitas tangki air balas kurang dari 1500 atau lebih dari 500 m<sup>3</sup> harus memenuhi standar penanganan air balas dengan menggunakan metode pertukaran air balas atau standar performa air balas hingga tahun 2016.
- Kapal yang dibangun pada tahun 2009 atau setelahnya dengan kapasitas tangki air balas kurang dari 5000 m<sup>3</sup> harus memenuhi aturan standar performa dari air balas.

- Kapal yang dibangun antara tahun 2009 – 2012, dengan kapasitas tangki air balas lebih dari 5000 m<sup>3</sup> atau lebih harus memenuhi aturan standar performa dari air balas.
- Kapal yang dibangun pada tahun 2012 atau setelahnya dengan kapasitas tangki air balas kurang dari 5000 m<sup>3</sup> harus memenuhi aturan standar performa dari air balas.
- Kapal yang menggunakan sistem pertukaran air balas harus melakukan pertukaran air balas setidaknya 200 mil laut dari pulau terdekat dan pada kedalaman air laut setidaknya 200 m.
- Dalam kasus ketika kapal tidak bisa melakukan pertukaran air balas seperti aturan di atas, maka pertukaran harus dilakukan sejauh mungkin dari pulau terdekat, yaitu setidaknya 50 mil laut dari pulau terdekat dan setidaknya dalam kedalaman 200 m.

ANNEX bagian C membahas mengenai undang – undang tambahan. Pada ANNEX ini disebutkan bahwa “Negara atau gabungan dari beberapa Negara yang saling bekerjasama, dimungkinkan untuk memberikan pemaksaan aturan tambahan untuk mencapai tujuan mengurangi mikroorganisme yang berbahaya akibat air balas dan endapannya. Dalam kasus ini, Negara atau gabungan dari beberapa Negara yang bekerjasama harus berkoordinasi dengan negara tetangga terdekat yang mungkin terkena imbas pelaksanaan pemaksaan aturan tambahan tersebut dan harus berkomunikasi dengan IMO untuk mendapatkan persetujuan dari pemaksaan aturan tambahan setidaknya enam bulan”.

ANNEX bagian D membahas mengenai standar untuk sistem pengolahan air balas. Peraturan pada ANNEX ini adalah sebagai berikut

- Pada regulasi D-1, menyebutkan bahwa standar dari metode pertukaran air balas adalah, kapal yang menggunakan metode ini harus melakukannya dengan efisiensi 95% volume pertukaran air balas. Untuk kapal yang melakukan pertukaran air balas dengan menggunakan metode pumping-through. Pumping-through sebesar tiga kali volume tiap tangki air balas harus dipertimbangkan untuk memenuhi standar yang telah ditetapkan, untuk pumping-through kurang dari tiga kali yang diperbolehkan asalkan memenuhi standar.
- Pada regulasi D-2, menyebutkan bahwa kapal yang menggunakan sistem penanganan air balas hanya diperbolehkan membuang kurang dari 10 organisme hidup dengan ukuran lebih dari atau sama dengan 50 mikrometer setiap 1 m<sup>3</sup>. Dan untuk mikroorganisme yang berukuran antara 10 hingga 50 mikrometer hanya boleh dibuang 10 mikroorganisme tiap 1 milimeter. Sedangkan untuk jenis mikrobanya, tidak boleh melebihi konsentrasi yang telah ditetapkan. Untuk vibrio cholerae kurang dari 1 cfu per 100 ml. Untuk Escherichia coli kurang dari 250 cfu per 100 ml. untuk intestinalenterococci kurang dari 100 cfu per 100 ml (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Jumlah Kandungan Mikroba dalam Air Balas (Lloyd's Register's)

Organism category	Regulation
Plankton, > 10-50 $\mu m$ in minimum dimention	< 10 cells/m <sup>3</sup>
Plankton, 10-50 $\mu m$	< 10 cells / ml
Toxicogenic Vibrio Cholera (O1 and O139)	< 1 cfu/ 100 ml or less than 1 cfu/gr
Eschericia Coli	< 250 cfu / 100 ml
Intestinal Enterococci	< 100 cfu / 100 ml

ANNEX bagian E adalah mengenai syarat survey dan sertifikasi untuk sistem pengolahan air balas. Pada ANNEX ini mengatur tentang pemberian syarat untuk berbagai macam survey dan sertifikasi. Sebagai tambahan, juga memberikan formulir untuk sertifikat manajemen pengolahan air balas, dan formulir buku catatan air balas.

## 2.4 Sistem Pengolahan Air Balas Kapal

Untuk memenuhi standar air balas yang tertera pada IMO *International Covention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments*, maka diperlukan manajemen pengolahan air balas. Menurut Suroso (2006), secara garis besar terdapat dua buah metode pengolahan air balas, yaitu pengolahan di pelabuhan dan pengolahan di kapal. Pengolahan air balas di kapal dibagi menjadi tiga metode, yaitu metode fisika, metode mekanik, dan metode kimia. Metode fisika adalah metode pengolahan air balas menggunakan penyaring atau filter. Metode mekanik adalah metode pengolahan air balas dengan menggunakan cara seperti radiasi ultraviolet, pemanasan, ultrasonik, medan magnet, dan medan listrik. Metode kimia adalah metode pengolahan air balas menggunakan zat kimia seperti klorin, hidrogen peroksida, kimia organik, dan lainnya. Pada penelitian ini, dalam pembuatan prototipe sistem pengolahan air balas akan digunakan metode fisika, yaitu dengan menggunakan penyaring atau filter, dan metode mekanik, yaitu menggunakan radiasi ultraviolet.

## 2.5 Sistem Pengolahan Air Balas Kapal Menggunakan Aplikasi Filtrasi Karet Remah

Karet remah adalah bongkahan – bongkahan karet yang dibuat dari karet mentah yang dipres menjadi lembaran lalu dipotong menjadi kecil – kecil. Selain itu crumb rubber juga dapat dibuat dari limbah ban yang dipotong dan digiling sampai pada ukuran yang diinginkan lalu dibersihkan dan dihilangkan setiap partikel logam yang terkandung di dalamnya.

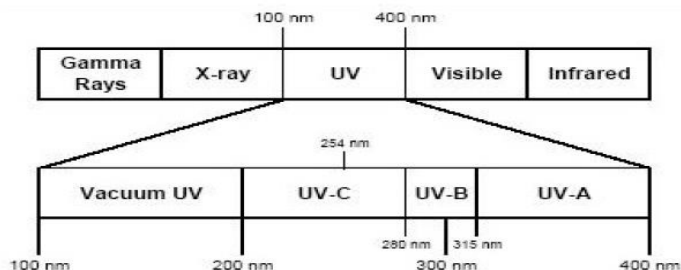
Pada tahun 2006, Zhijian Tang , Michael A. Butkus dan Yuefeng F. Xie berhasil menemukan aplikasi karet remah sebagai media penyaring organisme yang tidak diinginkan pada air balas. Dalam penelitiannya, mereka dapat membuktikan bahwa dengan menggunakan karet remah sebagai filter dapat meminimalkan masalah clogging yang biasanya terjadi pada filter konvensional. Selain itu filter karet remah juga lebih efektif dalam menyaring air. Hal ini disebabkan karena tingkat penyaringan air secara substansial pada filter ini lebih tinggi, namun bobot filter lebih ringan dibandingkan dengan filter konvensional.

Menurut (Tang et al., 2006) penggunaan karet remah sebagai filtrasi saja tidak mampu membunuh mikroba pada air balas hingga jumlah yang disyaratkan oleh pada IMO *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments*. Oleh karena itu harus digabungkan dengan metode pengolahan yang lain seperti metode kimia dengan memberikan zat koagulan atau dengan metode mekanik dengan menggunakan radiasi sinar ultraviolet.

## 2.6 Sistem Pengolahan Air Balas Kapal Menggunakan Aplikasi Radiasi Ultraviolet

### Sinar Ultraviolet

Sinar ultraviolet memiliki kemampuan untuk mempengaruhi fungsi sel makhluk hidup dengan mengubah material inti sel, atau DNA, sehingga makhluk tersebut mati (Jay,1996). Sinar ultraviolet termasuk dalam spektrum elektromagnetik yang berada diantara x-rays dan cahaya tampak, seperti digambarkan pada (Gambar 2.1). Spektrum sinar ultraviolet dibagi menjadi empat rentang, yaitu vacuum UV (100 to 200 nm), UV-C (200 to 280 nm), UV-B (280 to 315 nm), and UV-A (315 to 400 nm) (Meulemans 1986). UV-C adalah jenis spektrum sinar ultraviolet yang dapat diserap oleh protein asam ribonukleat (RNA) dan asam deoksiribonukleat (DNA), sehingga dapat menyebabkan mutasi atau kematian pada patogen dengan efektif (Liu, 2005).



Gambar 2.1 Spektrum Elektromagnetik Sinar UV

Sumber : UVDGM, 2003

Sinar UV pada filter air dihasilkan dari lampu UV yang pada dasarnya hampir sama dengan lampu fluorescent (lampu neon). Tabung lampu diisi dengan gas inert, biasanya argon dan merkuri. Berdasarkan tekanan dalam tabung, lampu UV dibedakan menjadi tiga yaitu lampu UV bertekanan rendah (*Low Pressure UV*), lampu UV bertekanan sedang (*Medium Pressure UV*) dan lampu dan pulse UV.



Pada tabel 2.2 berikut adalah karakteristik dari ketiga jenis lampu UV-C yang terdapat di pasaran.

Tabel 2.2 karakteristik lampu UV-C (EPRI, 1999)

Characteristic	Low Pressure	Medium Pressure	Pulse UV
Wavelength	Monochromatic, 85-90% at 254 nm	Polychromatic, 185-1,499 nm	Polychromatic, 185-800 nm
Emission	Continuous-wave	Continuous-wave	30 pulses / second
Mercurry vapour pressure	40 – 60 <sup>0</sup> C	500 – 800 <sup>0</sup> C	15,000 <sup>0</sup> C
Arc length	40 – 75 cm	5 – 40 cm	15 cm
Lifetime	8,000 – 10,000 h	2,000 – 5,000 h	>9,000 h at 30 pulses / Second
Relative light intensity	Low	Medium	High

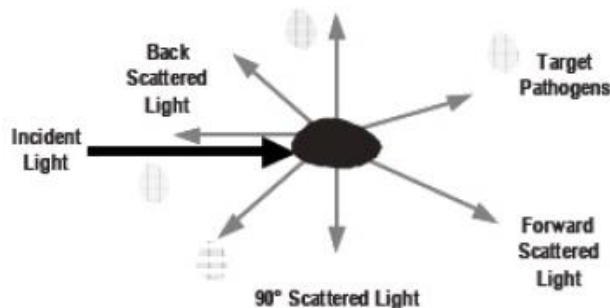
Dosis UV yang digunakan pada proses pengolahan air balas harus diperhatikan pada saat melaksanakan proses bongkar muat air balas. Ketika air balas pada saat bongkar muat pada kondisi yang sangat keruh dan terdapat banyak material yang bersifat polutan maka dosis UV yang diberikan harus lebih besar sedemikian serupa sehingga dapat menginaktivasi mikroba air patogen yang terdapat di dalam air balas tersebut.

Lampu UV pada umumnya dioperasikan dengan menggunakan arus listrik DC. Penggunaan arus listrik DC pada lampu UV ini memberikan dampak bagi kinerja lampu UV diantaranya adalah karena menggunakan arus listrik DC maka pada elektroda lampu harus diperhatikan suhunya agar tidak melebihi batas suhu yang telah ditetapkan sehingga akan menghindarkan dari kerusakan. Selain itu dengan menggunakan busur DC akan mengurangi jumlah photon yang dihasilkan oleh lampu sehingga efisinsi dari proses inaktivasi bakteri akan berkurang (Jukka Sassi, et al, 2005)

#### Faktor Yang Mempengaruhi Inaktivasi Mikroorganisme Oleh Sinar UV

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi inaktivasi mikroorganisme oleh sinar UV, diantaranya adalah intensitas pencahayaan lampu UV, temperatur air, panjang gelombang UV dan tingkat penyerapan sinar UV (Liu, 2005). Faktor intensitas pencahayaan dalam inaktivasi mikroorganisme memiliki hubungan timbal balik dengan lama penyinaran (Oliver dan Cosgrove, 1975). Misalnya kinerja inaktivasi oleh intensitas UV dari 2 mW / cm<sup>2</sup> dan waktu pemaparan 50 detik (yaitu UV dosis 100 mJ / cm<sup>2</sup>) adalah setara dengan intensitas UV dari 5 mW / cm<sup>2</sup> dan waktu pemaparan 20 detik (Liu, 2005). Pada faktor panjang gelombang,

mikroorganisme akan lebih cepat mati pada spektrum cahaya 260 nm – 300 nm (Liu, 2005), sehingga dalam sistem pengolahan air balas digunakan lampu UV- C yang memiliki panjang gelombang 200 nm – 300 nm. Selain dipengaruhi oleh faktor – faktor yang telah disebutkan, inaktivasi mikroorganisme juga dipengaruhi absorbansi dan hamburan. Absorbansi merupakan banyaknya cahaya atau energi yang diserap oleh partikel-partikel dalam larutan. Besarnya tingkat absorbansi mikroorganisme salah satunya dipengaruhi oleh kekeruhan air, oleh karena itu diperlukan penyaringan terhadap air balas sebelum masuk ke reaktor UV agar absorbansinya menjadi tinggi. Hamburan sinar UV adalah perubahan arah cahaya yang disebabkan oleh interaksinya dengan partikel (Gambar 2.2). Meskipun terjadi hamburan sinar UV, radiasi yang dipancarkan oleh lampu UV masih tersedia untuk menonaktifkan mikroorganisme, namun ketika terdapat partikulat yang besar di dalam air ini akan menjadi masalah terhadap tingkat absorbansi UV oleh bakteri.



Gambar 2.2 Hamburan pola sinar UV pada partikel  
Sumber : UVDGM, 2003

#### Persyaratan Umum Untuk Perangkat UV

Menurut Gloster-Herbert (2002) sebuah sistem pengolahan air dengan menggunakan UV harus memenuhi persyaratan berikut

- Menginaktivasi bakteri sebanyak 90%
- Mengurangi virus coliphage MS-2 > 90%
- Mengurangi potensi pertumbuhan phytoplankton > 50%,
- Mengurangi jumlah zooplankton khususnya ketika dilakukan pengolahan selama proses pengangkutan dan pembuangan air balas.

### **2.7 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya (*State of the Art*)**

Zhijian Tang, Michael A. Butkus dan Yuefeng F. Xie (2008) dalam penelitiannya yang berjudul “*Enhanced performance of crumb rubber filtration for ballast water treatment*” telah melakukan penelitian mengenai performa karet remah sebagai penyaring air balas. Dalam penelitian ini dibuatkan penyaring yang memiliki lebar 5 cm dan kedalaman 90 cm. karet remah yang digunakan sebagai filter memiliki ukuran 1,2 – 2 mm. Ukuran ini dipilih berdasarkan *American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard Test C136-92*, dan *Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (ASTM, 1993)*. Dalam penelitian ini terdapat dua

eksperimen yang telah dilakukan , yaitu eksperimen mengenai pengaruh variasi debit air balas terhadap performa filtrasi karet remah, dan eksperimen filtrasi dual media.

Pada eksperimen pengaruh variasi debit air balas terhadap performa filtrasi karet remah dilakukan dengan memberikan debit air balas dengan variasi 147, 195 and  $220 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , dan dengan head pompa sebesar 14,1 m. Pada eksperimen ini dilakukan pengamatan terhadap efektifitas penyaringan mikroba jenis *zooplankton*, *phytoplankton*, serta pengamatan terhadap pengurangan kekeruhan air dengan hasil pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 3 Hubungan variasi debit air balas dengan efektifitas penyaringan (Zhijian Tang, et al, 2016)

Filtration rate ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ )	Removal efficiencies (%)		
	Turbidity	Phytoplankton	Zooplankton
24	$19 \pm 6$	$58 \pm 4$	$58 \pm 9$
147	$16 \pm 3$	$60 \pm 6$	$92 \pm 3$
195	$16 \pm 1$	$60 \pm 4$	$90 \pm 2$
220	$17 \pm 2$	$57 \pm 10$	$92 \pm 6$

Berdasarkan data dari tabel di atas didapatkan hasil eksperimen yang menunjukkan pengurangan kekeruhan hingga 16%, pengurangan jumlah *phytoplankton* hingga 60% dan pengurangan jumlah *zooplankton* hingga 92% pada tingkatan debit yang berbeda. Sedangkan tingkat efektifitas yang paling besar dalam penyaringan diperoleh pada debit 147 dengan tingkat pengurangan kekeruhan sebesar 16%, pengurangan jumlah *phytoplankton* sebesar 60% dan pengurangan jumlah *zooplankton* sebesar 92%. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari eksperimen ini didapatkan kesimpulan bahwa terdapat peningkatan substansial dalam efektifitas pengurangan jumlah *zooplankton*, sedangkan tidak ada perubahan substansial yang diamati untuk mengurangi kekeruhan dan jumlah *fitoplankton*. Peningkatan penghapusan *zooplankton* diprediksi disebabkan oleh kompresi karet remah, yang mengurangi ruang kosong di filter (terutama pada laju filtrasi tinggi).

Pada eksperimen filtrasi dual media dilakukan pengamatan terhadap efektifitas penyaringan yang dihasilkan oleh pasir, karet remah, dan perpaduan antara pasir dengan karet remah. Adapun pengaturan media penyaringan pada eksperimen pertama filter diisi karet remah sedalam 90 cm. Eksperimen kedua filter diisi karet remah sedalam 85 cm dan pasir sedalam 5 cm. Eksperimen ketiga filter diisi karet remah sedalam 75 cm dan pasir sedalam 15 cm. Pada percobaan keempat filter diisi pasir sedalam 60 cm. Pada eksperimen ini debit air diatur konstan pada  $24.4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . Dari penelitian ini didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada tabel 2.3

Tabel 2. 4 Hubungan variasi debit air balas dengan fektifitas penyaringan  
(Zhijian Tang, et al, 2016)

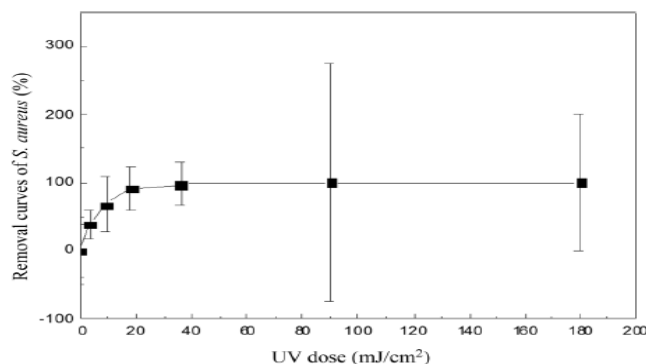
Layer Composition Crumb rubber +sand	Removal efficiencies (%)		
	Turbidity	Phytoplankton	Zooplankton
90 cm crumb rubber only	19 ± 6	58 ± 4	58 ± 9
85 cm crumb rubber + 5 cm sand	28 ± 6	71 ± 2	93 ± 2
75 cm crumb rubber + 15 cm sand	36 ± 3	72 ± 7	92 ± 6
60 cm sand only	27 ± 1	71 ± 1	96 ± 4

Berdasarkan data dari tabel di atas didapatkan hasil eksperimen yang menunjukkan pengurangan jumlah *phytoplankton*, *zooplankton* dan kekeruhan paling besar dihasilkan filter dual media. Hasil penyaringan yang dihasilkan oleh filter ini adalah lebih dari 70% *phytoplankton* mati, lebih dari 90% *zooplankton* mati dan lebih dari 28% kekeruhan berkurang. Dikarenakan karet remah memiliki berat yang lebih ringan daripada pasir, sedangkan ukurannya lebih besar daripada pasir maka penempatan yang paling tepat pada filtrasi dual media adalah karet remah berada di atas pasir. Berdasarkan hasil dari penelitian ini organisme yang memiliki ukuran lebih besar akan disaring oleh karet remah, sedangkan organisme yang memiliki ukuran lebih kecil akan disaring oleh pasir. Hasil dari penelitian ini juga mengindikasikan bahwa dengan hanya menggunakan pasir sedalam 5 cm dikombinasikan dengan karet remah dapat menghasilkan air olahan yang memiliki kualitas yang sama dengan filter yang keseluruhannya menggunakan pasir yang lebih tebal, sehingga hal ini akan sangat membantu mengurangi berat filter yang digunakan kapal.

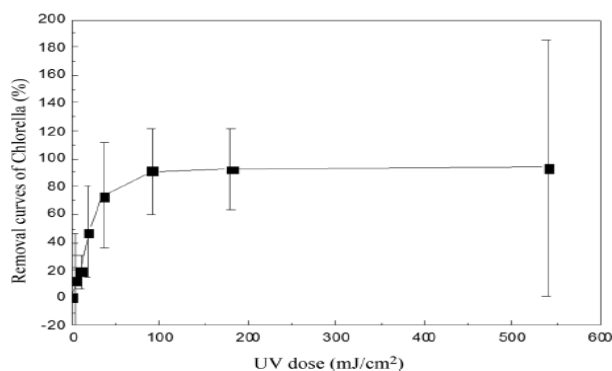
Z. J. Ren, L. Zhang, Y. Shi, J. C. Shao, X. D. Leng Dan Y. Zhao (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “*Microorganism Removal from Ballast Water using UV Irradiation*” telah melakukan penelitian untuk memahami potensi teknologi iradiasi UV untuk mematikan mikroorganisme dalam air balas. Dalam penelitiannya peneliti menggunakan eksperimen statis dan dinamis. Eksperimen statis digunakan untuk mengetahui efek dosis UV terhadap inaktivasi mikroorganisme, sedangkan eksperimen dinamis digunakan untuk mempelajari efek debit air balas terhadap inaktivasi mikroorganisme.

Pada eksperimen ini air balas diatur kondisinya berdasarkan indikator biologi yang ditetapkan oleh *International Ships' Ballast Water and Sediments Management and Control of the Convention* sehingga air balas memiliki ph 7.5 – 8.0, suhu 16 – 26°C, dan salinitas 35 psu. Intensitas radiasi UV diatur pada 10–600 µW/cm<sup>2</sup>, dan mikroorganisme yang menjadi subjek penelitiannya adalah *Chlorella* dan *S. Aureus*.

Pada penelitian pengaruh dosis UV terhadap inaktivasi mikroba, dosis UV yang digunakan untuk inaktivasi *S. aureus* diberikan pada rentang 0-180 mJ/cm<sup>2</sup> sedangkan pada inaktivasi *Chlorella* diberikan pada rentang 0–540 mJ/cm<sup>2</sup>. Dari eksperimen yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa semakin besar dosis yang di berikan maka laju inaktivasi bakteri semakin besar pula. Hal ini ditunjukkan pada hasil penelitian ini ketika dosis UV yang diberikan sebanyak 36 mJ/cm<sup>2</sup> inaktivasi bakteri mencapai 97.6%, sedangkan ketika dosis UV ditambah hingga 90 mJ/cm<sup>2</sup> inaktivasi bakteri bertambah 2%. Pada gambar 2.3 dan 2.4 ditunjukkan kurva hubungan dosis UV terhadap inaktivasi mikroorganisme. Pada kurva tersebut dibagi menjadi tiga daerah yaitu daerah lag, daerah orde pertama, dan daerah ekor. Dosis UV pada stagnasi kritis disebut *Itlag*, sedangkan dosis UV pada daerah ekor disebut *ITtail*. Ketika dosis UV (IT) lebih rendah daripada *Itlag* maka laju inaktivasi mikroorganisme rendah. Ketika dosis UV (IT) nilainya diantara *Itlag* dan *ITtail* dan terus naik, maka laju inaktivasi mikroorganisme akan naik secara signifikan secara bertahap. Pada akhirnya saat nilai *IT* lebih dari *ITtail* maka laju inaktivasi mikroorganisme akan menjadi tetap. Pada gambar 2.3 digambarkan bahwa pada grafik laju inaktivasi *S. aureus* terdapat daerah urutan utama dan daerah ekor. Nilai dari *ITtail* pada daerah ekor 18 mJ/cm<sup>2</sup>, sedangkan pada daerah urutan utama laju inaktivasinya naik secara signifikan hingga menunjukkan nilai inaktivasi yang mencapai 91.6 % .



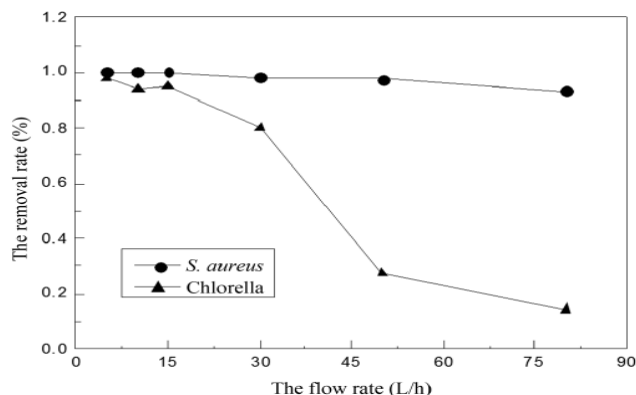
Gambar 2.3 Kurva laju inaktivasi *S. aureus*  
Sumber : Z. J. Ren et al., 2016



Gambar 2.4 Kurva laju inaktivasi *Chlorella*  
Sumeber : Z. J. Ren et al., 2016

Pada kurva inaktivasi *chlorella* (Gambar 2.4) ditunjukkan bahwa terdapat tiga daerah yang menyusun kurva ini, yaitu daerah lag, daerah orde pertama, dan daerah ekor. Ketika dosis UV lebih rendah dari *ITlag* pada  $12 \text{ mJ/cm}^2$ , inaktivasi *chlorella* hanya mencapai 20-30%. Ketika dosis UV diantara  $12\text{--}60 \text{ mJ/cm}^2$  laju inaktivasi mikroorganisme berada pada daerah urutan utama. Pada akhirnya saat dosis UV  $60 \text{ mJ/cm}^2$ , nilai inaktivasi *chlorella* dapat mencapai 91.5%. Berdasarkan eksperimen ini diambil kesimpulan bahwa pemberian dosis UV yang tepat adalah ketika nilai dosisnya lebih besar daripada nilai *ITtail*. Hal ini dikarenakan ketika nilai dosis UV lebih besar daripada nilai *ITtail* maka tingkat inaktivasi mikroba akan meningkat seiring dengan peningkatan dosis UV.

Selain menganalisa pengaruh debit terhadap pemberian dosis UV, dalam penelitian ini juga dilakukan pengamatan terhadap pengaruh debit air balas terhadap inaktivasi mikroorganisme. Penelitian dilakukan dengan memberikan variasi debit air balas yang bervariasi dari 0-100 L/h dengan dosis UV yang tetap. Dari eksperimen ini didapatkan hasil yang menyatakan bahwa semakin besar laju aliran air balas maka tingkat inaktivasi mikroorganismenya akan semakin kecil. Pada penelitian ini didapatkan tingkat inaktivasi *Chlorella* dan *S. Aureus* dapat mencapai lebih dari 90% dengan debit air balas sebesar 15 L/h seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva laju inaktivasi *S. aureus* dan *Chlorella*  
Sumber : Z. J. Ren et al., 2016

SWRCB, 2002 memuat penelitian dengan judul “*Evaluation of Ballast Water Treatment Technology for Control of Nonindigenous Aquatic Organisms*”. Pada penelitian tersebut telah dilakukan pengolahan air laut dengan menggunakan radiasi sinar UV dengan dosis  $20 \text{ mW/cm}^2/\text{sec}$  dan menghasilkan prosentase inaktivasi mikroba seperti pada tabel 2.5. Berdasarkan tabel tersebut, dengan menggunakan penyinaran ultraviolet mampu menghasilkan performa inaktivasi mulai dari 97,8456% hingga 99,9999%. Dari hasil yang didapat menandakan bahwa radiasi sinar UV efektif dalam membunuh mikroba air patogen.

Tabel 2. 5 Persentase pengurangan jumlah bakteri dan mikroba hasil dari radiasi sinar UV dengan dosis 20 mW/cm<sup>2</sup>/sec (SWRCB, 2002).

Organisme	Inaktivasi (%)	Organisme	Inaktivasi (%)
Bacillus antracis	99,9964	Shigella dysenteriae	99,9999
Clostridium tetani	97,8456	Streptococcus faecalis	99,9972
Corynebacterium diphthera	99,9999	Vibrio cholerae	99,9162
Echerichia coli	99,9999	Influenza virus	99,9997
Legionela pneumophila	99,9999	Poliovirus	99,7846
Mycobacterium tuberculosis	99,9536	Rotavirus	98,3014
Pseudomonas aeruginosa	99,9769	Saccharomyces cerevisiae	99,8179
Salmonella paratyphi	99,9999		

Jelmert (1999) telah melakukan percobaan pengolahan air menggunakan penyinaran UV dengan dosis 92 mW / cm<sup>2</sup>. Pada penelitian ini air disirkulasi dengan laju alir 55 m<sup>3</sup>/jam. Dari penelitian ini ditemukan hasil bahwa setelah dilakukan pengolahan menghasilkan kesimpulan bahwa radiasi sinar UV dapat menginaktivasi *nauplii artemia* sebanyak 100%, *isochrysis* 100% dan *pavlova* 41%.

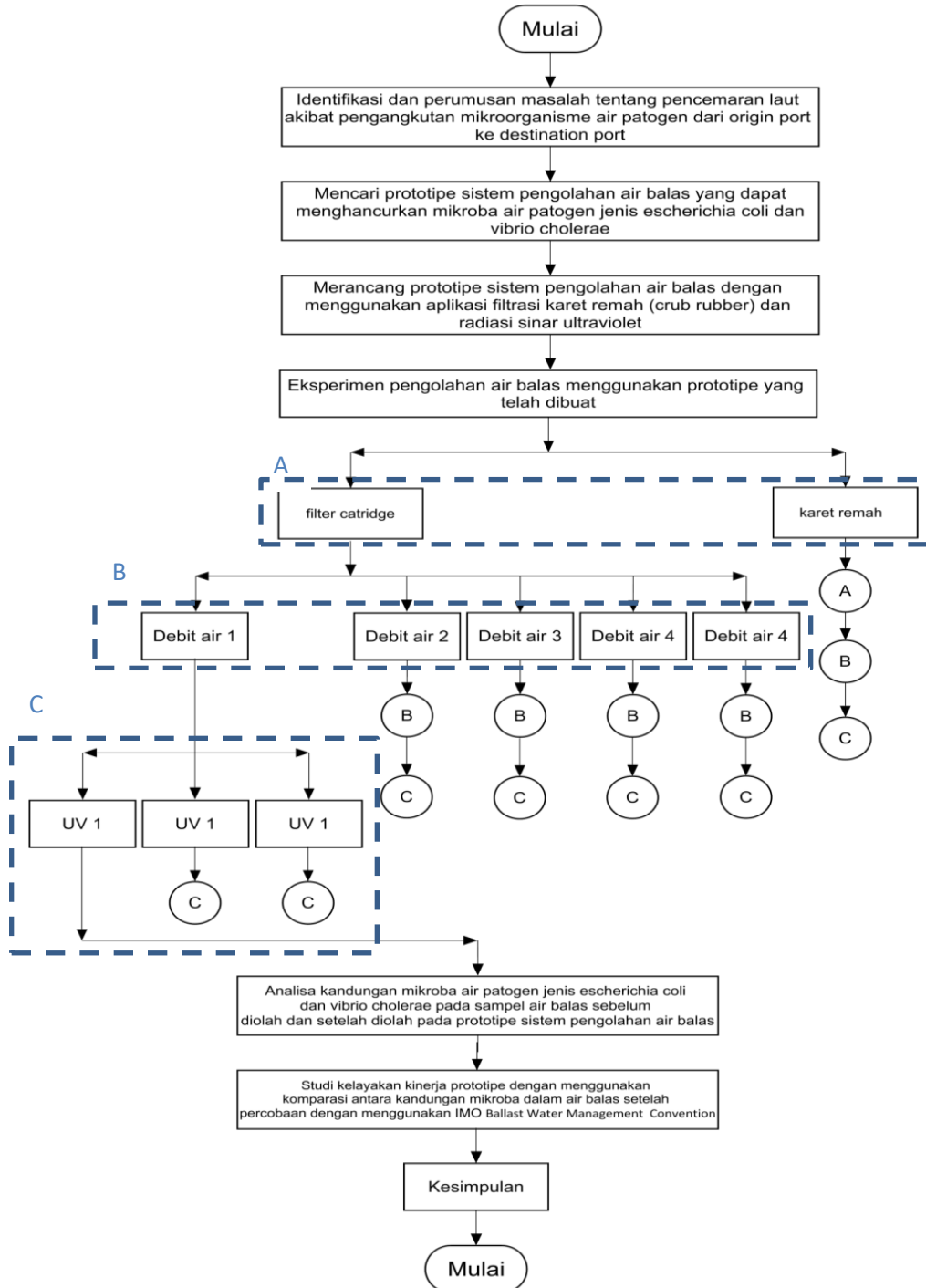
Pada percobaan kedua dilakukan pengolahan dengan mengalirkan air dengan debit sebesar 70 m<sup>3</sup>/h dan penyinaran UV dengan menggunakan 9 buah lampu UV yang memiliki daya nominal sebesar 200 watt. Dari percobaan ini dihasilkan prosentase inaktivasi *nauplii narva* sebesar 99,5%, *dinoflagellate prorocentrum* sebesar 84.7% dan alga hijau sebesar 87.6%.

Okik (2010) dalam penelitiannya yang berjudul “Kajian Percobaan Penanganan Air Balas Dengan Kombinasi Metode Perlakuan Panas dan Penyinaran UV” telah melakukan penelitian mengenai pengaruh intensitas sinar ultraviolet dan pengadukan terhadap lama waktu yang diperlukan untuk mematikan bakteri *e-coli* yang terdapat di dalam air. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan sampel air yang ditampung dalam gelas baker ukuran 100 ml dan menggunakan lampu ultraviolet 15 watt sebagai sumber penerangannya. Lampu UV diatur penempatannya pada jarak 10, 20, 30 cm dari dasar gelas baker untuk mendapatkan variasi intensitas penyinaran. Pada masing – masing jarak tersebut dilakukan pemaparan sinar ultraviolet dengan durasi 1, 2, 3, 4 dan 5 menit. Pada eksperimen ini dilakukan pula pengadukan pada beberapa sampel air untuk mendapatkan analisa mengenai pengaruh turbulensi terhadap waktu untuk mematikan bakteri. Pada penelitian ini didapatkan hasil jumlah bakteri *E.Coli* paling banyak mati sebesar 85% ketika mendapatkan jarak lampu dari gelas baker sejauh 10 cm, dan sampel air mengalami pengadukan. Dari penelitian ini dapat

disimpulkan bahwa semakin besar intensitas penerangan dan dengan adanya turbulensi pada air akan membuat bakteri semakin cepat mati



### BAB III METODE PENELITIAN



### 3.1 Identifikasi dan perumusan masalah kandungan mikroorganisme air patogen dari origin port ke destination port

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah mengenai pencemaran laut yang diakibatkan oleh penyebaran mikroorganisme air patogen yang berasal dari air balas kapal yang dibawa dari *origin port*.

### 3.2 Studi literatur tentang sistem pengolahan air balas yang dapat menghancurkan mikroba air patogen jenis *escherichia coli* dan *vibrio cholerae*

Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai metode yang dapat digunakan untuk mengolah air balas. Dari studi literatur ini selanjutnya akan dipilih salah satu metode yang akan dikembangkan dalam penelitian ini.

### 3.3 Merancang prototipe sistem pengolahan air balas dengan menggunakan aplikasi filtrasi karet remah dan radiasi sinar ultraviolet

Pada tahap ini dilakukan pembangunan prototipe sistem pengolahan air balas dengan menggunakan aplikasi filtrasi karet remah dan radiasi sinar ultraviolet. Dalam perancangan ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui, yaitu tahap perencanaan prototipe pengolah air balas, pemilihan material, perakitan instalasi permesinan, dan uji coba alat.

Tahap perencanaan prototipe dilakukan dengan menggambar rancangan prototipe pada *software Solid Work* dan melakukan perhitungan pemilihan pompa yang meliputi perhitungan debit air balas dalam sistem, head loss, serta dosis UV guna menjadi pertimbangan dalam pemilihan spesifikasi pompa air dan lampu UV yang akan digunakan dalam prototipe. Adapun beberapa formula yang digunakan dalam perhitungan head pompa, debit air balas, dan dosis UV adalah sebagai berikut

#### Perhitungan debit

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana :

Q = Debit (ml/s<sup>2</sup>)

v = Kecepatan aliran fluida (ml)

t = waktu tempuh fluida (detik)

#### Kecepatan fluida

$$v = \frac{Q (cm^2 dt^{-1})}{A (cm^2)}$$

Dimana :

Q = Debit (ml/s<sup>2</sup>)

A = luas alas pipa bagian dalam (cm<sup>2</sup>)..... 3.2

### Lama penyinaran UV

$$(\theta) = \frac{L (cm)}{v (cm dt^{-1})} \dots\dots\dots 3.3$$

$\theta$  = Lama penyinaran UV (cm<sup>3</sup> dt<sup>-1</sup>)

$L$  = Panjang reaktor UV (cm)

$v$  = Kecepatan fluida (cm/s)

### Dosis UV

$$(D_{uv}) = I_{uv} \cdot t \dots\dots\dots 3.4$$

$I_{uv}$  = intensitas penyinaran UV (watt)

$t$  = lama penyinaran (detik)

### Perhitungan kebutuhan head pompa

$$H = ha + hp + hv + hl \dots\dots\dots 3.5$$

Dimana :

$H$  = Head total yang dibutuhkan

$ha$  = Head Statis

$hp$  = Head Pressure

$hv$  = Head velocity

$hl$  = Head loss

$$hp = Hp \text{ discharge} - Hp \text{ suction} \dots\dots\dots 3.6$$

$$hv = (v \text{ discharge} - v \text{ suction})^2 / 2g \dots\dots\dots 3.7$$

$$hl = hl \text{ mayor} + hl \text{ minor} \dots\dots\dots 3.8$$

$$hl \text{ mayor} = f \frac{Lv^2}{2gD} \dots\dots\dots 3.9$$

$Hl \text{ mayor}$  = head loss mayor

$f$  = friction factor

$L$  = panjang pipa (m)

$v$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$d$  = diameter dalam pipa (m)

Nilai friction factor didapatkan dari persinggungan antara nilai *Relative Pipe Roughness* dengan *Renould Number* (Re) pada *Moody Diagram*.

*Renould Number* (Re)

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \dots\dots\dots 4.0$$

$Re$  = Renould Number

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

$v$  = kecepatan fluida ( $m/s$ )

$d$  = diameter dalam pipa ( $m$ )

$\pi$  = viskositas kinematik fluida

Realtive Pipe Roughnes

Relative Pipe Roughnes =  $\varepsilon/D$  ..... 4.1

$\varepsilon$  = Kekasaran permukaan pipa bagian dalam

$D$  = Diameter dalam pipa ( $m$ )

$h = k \frac{v^2}{2g}$  ..... 4.2

$h$  = head loss minor ( $m$ )

$k$  = koefisien resistansi

$v$  = kecepatan fluida dalam pipa ( $m/s$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

### 3.4 Eksperimen pengolahan air balas menggunakan prototipe prototipe pengolah air balas

Pada tahap ini dilakukan eksperimen pengolahan air balas menggunakan prototipe yang telah dibuat. Pada tahap awal eksperimen air balas akan disaring dala sistem filtrasi. Sistem filtrasi pada prototipe ini menggunakan aplikasi filtrasi alternatif karet remah yang akan dibandingkan keinerjanya dengan filter katrid. Air balas dari tangki awal akan dimasukkan ke sistem filtrasi dengan variasi debit ke-1 hingga ke-4. Setelah itu air balas akan masuk ke reaktor uv. Pada reaktor uv air balas akan diberikan dosis penyinaran UV yang bervariasi. Variasi dosis penyinaran ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara debit air balas dengan dosis UV yang dibutuhkan untuk inaktivasi mikroba air patogen. Pasca pengolahan dari reaktor uv, selanjutnya air balas akan ditampung pada tangki nomor 2. Dari tangki ini air balas akan diambil sampelnya untuk dianalisa kandungan mikroba air patogen yang terkandung di dalamnya.

### 3.5 Analisa kandungan mikroba air patogen jenis escherichia coli dan vibrio cholerae pada sampel air balas sebelum diolah dan setelah diolah pada prototipe sistem pengolahan air balas

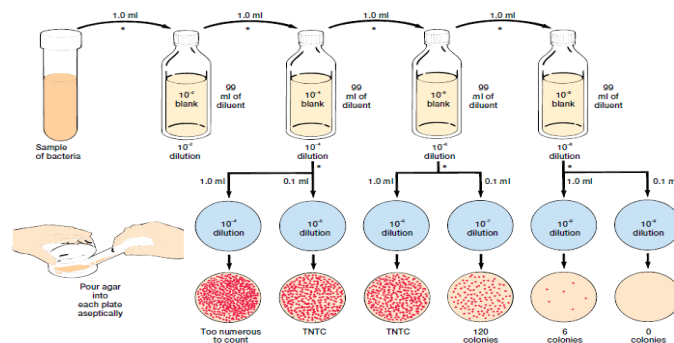
Pada tahap ini dilakukan analisa jumlah kandungan mikroba patogen pada air balas sebelum diolah dalam prototipe dan air balas yang telah diolah dalam prototipe guna mengetahui bagaimana kinerja dari prototipe sistem pengolahan air balas yang telah dibuat dalam mengolah air balas pada eksperimen ini. Adapun analisa kandungan mikroba air patogen pada penelitian ini menggunakan metode *Total Plate Count*. *Total Plate Count* adalah media penumbuhan sel mikroorganisme pada media agar, sehingga mikroba yang masih hidup akan

berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dihitung langsung tanpa bantuan mikroskop (Dian, 2017).

Terdapat beberapa hal yang harus dipersiapkan sebelum melaksanakan pengujian menggunakan metode TPC, diantaranya adalah menyiapkan media penumbuh bakteri, menyiapkan larutan pengencer, sterilisasi peralatan yang akan digunakan dalam pengujian dan sterilisasi tempat pengujian.

Pada persiapan media penumbuh bakteri, media yang sering digunakan adalah *Plate Count Gel*. Media ini dilarutkan sebanyak 17,5 gram ke dalam 1000 ml aquades kemudian dipanaskan hingga mendidih agar media agar terlarut dengan sempurna dalam aquades. Pada saat proses pendidihan dilakukan pula pengadukan kepada media agar supaya tidak terjadi pengendapan sehingga dapat menyebabkan proses pencampuran menjadi lama. Setelah media terlarut sempurna kemudian media disterilisasi dengan menggunakan *Autoclave* selama 15 menit pada suhu 121 derajat Celcius / tekanan 1,5 ATM. Setelah persiapan medium penumbuh telah selesai dilaksanakan, langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menyiapkan larutan pengencer. Larutan pengencer yang bisa digunakan antara lain NaCL 0,85 %, larutan *buffer fosfat*, *pepton water* (Dian, 2017). Persiapan tahap terakhir yang dilakukan sebelum melaksanakan uji kuantitatif menggunakan metode TPC adalah sterilisasi peralatan pengujian, dan sterilisasi tempat pengujian.

Setelah persiapan prapengujian siap, selanjutnya dilakukan pengujian diawali dengan memasukkan sampel air laut sebanyak 0,1 ml ke dalam tabung reaksi yang berisi 9.9 ml akuades steril dan dihomogenkan dengan vortex. Tabung ini kemudian disebut dengan pengenceran  $10^{-2}$ . Kemudian dari pengenceran  $10^{-2}$  diambil sebanyak 0.1 ml dan dipindahkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9.9 ml aquades steril dan dihomogenkan kembali. Tabung tersebut kemudian disebut dengan pengenceran  $10^{-4}$ . Pengenceran terus dilakukan hingga didapatkan pengenceran  $10^{-8}$ . Dari pengenceran  $10^{-4}$  sampai  $10^{-8}$  diambil sebanyak 100  $\mu$ L/ 0.1 ml larutan sampel dengan menggunakan mikropipet dan dipindahkan ke dalam Petri Dish kosong kemudian ditambahkan medium Nutrient Agar (NA) cair dengan suhu berkisar antara 48°C - 50°C (Gambar 3.1). Sampel dan media dihomogenkan dengan cara diputar membentuk pola angka delapan (8). Masing-masing pengenceran dituang sebanyak dua kali ulangan kemudian kultur diinkubasi pada suhu 35°C selama 24 jam atau 20°C selama 48 jam.



Gamabr 3. 1 Prosedur kuantifikasi dengan metode TPC

Sumber : Harley dan Prescott, 2002

Ketika waktu inkubasi telah mencapai 48 jam, maka bakteri yang terdapat di dalam cawan akan tumbuh sehingga dapat dilakukan perhitungan terhadap jumlah bakteri. Perhitungan jumlah koloni bakteri pada cawan menggunakan standar yang disebut “*Standard Plate Count*” yang menjelaskan cara menghitung koloni pada cawan serta cara memilih data yang ada untuk menghitung jumlah koloni dalam suatu contoh. Ketika menghitung koloni bakteri pada cawan juga harus memperhatikan hal – hal sebagai berikut :

- Cawan yang dipilih dan dihitung adalah yang mengandung jumlah koloni antara 25 sampai 250.
- Beberapa koloni yang bergabung menjadi satu merupakan suatu kumpulan koloni yang besar dimana jumlah koloninya diragukan, dapat dihitung sebagai satu koloni.
- Suatu deretan atau rantai koloni yang terlihat seperti suatu garis tebal dihitung sebagai satu koloni.
- Dipilih cawan petri dari satu pengenceran yang menunjukkan jumlah koloni antara 25-250 koloni.

Berikut adalah contoh perhitungan jumlah bakteri pada cawan yang memenuhi syarat perhitungan

Tabel 2. 6 contoh perhitungan jumlah bakteri pada cawan 1			
Pengenceran	Cawan I	Cawan II	Keterangan
10-2	150	350	Yang memenuhi syarat adalah cawan I
10-3	20	35	Yang memenuhi syarat perhitungan adalah cawan II

Jumlah koloni rata – rata pada tabel di atas adalah hasil dari penjumlahan kedua cawan yang memenuhi syarat dikalikan dengan faktor pengencernya.

$$\text{Jumlah koloni rata – rata} = ((150 \times 1/10^{-2}) + (35 \times 1/10^{-3}))/2$$

$$\text{Jumlah koloni rata – rata} = (15000 + 35000)/2$$

$$\text{Jumlah koloni rata – rata} = 25000$$

Maka jumlah koloni dalam 1 ml adalah 25000 cfu/ml

Apabila Bila cawan-cawan dari dua tingkat pengenceran yang berurutan menunjukkan jumlah koloni antara 25 hingga 250, maka perhitungannya adalah dengan cara menghitung jumlah koloni dari masing – masing tingkat pengenceran dikalikan dengan faktor pengencernya dan dan rata-rata jumlah koloni dari kedua pengenceran tersebut.

Tabel 2. 7 contoh perhitungan jumlah bakteri pada cawan 2

Pengenceran	Cawan I	Cawan II	Keterangan
10-2	150	350	Yang memenuhi syarat adalah cawan 1
10-3	20	35	Yang memenuhi syarat perhitungan adalah cawan II

Jumlah koloni rata – rata =  $((220 \times 1/10^{-2}) + (50 \times 1/10^{-3}))/2$

Jumlah koloni rata – rata =  $(22000 + 50000)/2$

Jumlah koloni rata – rata = 36000

Maka jumlah koloni dalam 1 ml adalah 36.000 cfu/ml

### **Deteksi kuantitatif Bakteri dengan Metode Turbidimetri**

Turbidimetri adalah analisis kuantitatif yang didasarkan pada tingkat kekeruhan larutan akibat adanya partikel yang terdapat di dalam larutan. Metode turbiditi sering digunakan untuk mengukur kadar senyawa tertentu yang terdapat di dalam suatu tempat yang telah dicairkan. Analisa kuantitatif pada metode ini didasarkan pada intensitas cahaya yang dihamburkan oleh partikel setelah partikel tersebut disinari oleh cahaya. Hamburan yang terukur pada alat turbidimeter adalah hamburan yang diteruskan atau yang membentuk sudut  $180^0$ . Sedangkan hamburan yang membentuk sudut  $90^0$ , hamburannya terdeteksi oleh alat nefelometer.

Pengukuran turbiditas dapat dikelompokkan menjadi tiga golongan, yaitu pengukuran intensitas cahaya yang dihamburkan terhadap intensitas cahaya yang diberikan, pengukuran intensitas cahaya yang diteruskan terhadap intensitas cahaya yang diberikan dan pengukuran kedalaman dimana cahaya mulai tidak tampak yang disebabkan oleh kekeruhan sampel.

Uji turbiditas pada penelitian ini dilakukan pada sampel air laut dengan tiga kondisi, yaitu kondisi eksisting, kondisi telah ditreatment dengan menggunakan penyinaran UV dengan daya lampu sebesar 60 watt, atau dengan dosis sebesar  $14,21 \text{ mW} / \text{cm}^2$  dan kondisi telah ditreatment dengan menggunakan filtrasi karbon dan pemberian penyinaran UV dengan daya lampu sebesar 60 watt, atau dengan dosis sebesar  $14,21 \text{ mW} / \text{cm}^2$ . Dalam pengujian ini digunakan dua buah blanko berupa larutan aquades steril dan air laut steril yang berfungsi untuk mengkalibrasi alat spektrofotometer. Penyinaran dalam alat spektrofotometer diatur pada panjang gelombang 600 nm agar mikroba dengan ukuran dibawah 5 mikron dapat menghamburkan sinar yang dipancarkan oleh spektrofotometer. Hasil dari pengamatan ini akan memunculkan nilai absorbansi atau *Optical Density* (OD) yang menggambarkan tingkat absorpsi sinar yang dipancarkan oleh spektrofotometer. Semakin besar nilai OD maka semakin besar kekeruhan dari sampel. Semakin besar nilai kekeruhan sampel maka semakin banyak mikroba yang terdapat dalam sampel.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



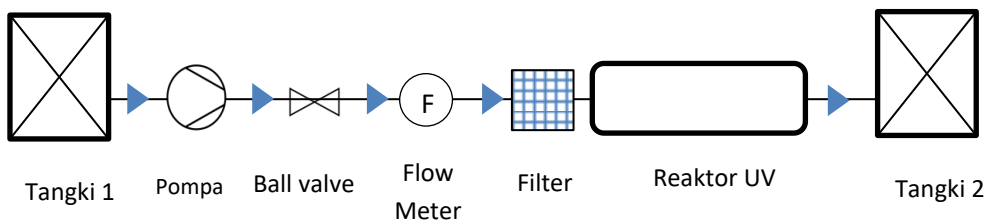
## BAB IV RANCANG BANGUN PROTOTIPE

### 4.1 Umum

Pada bab ini dijelaskan langkah – langkah perancangan dan pembuatan prototipe alat pengolah air balas kapal yang meliputi proses desain prototipe dan perhitungan teknis yang meliputi perhitungan kapasitas dan head pompa.

### 4.2 Desain Prototipe Alat Pengolah Air Balas Kapal

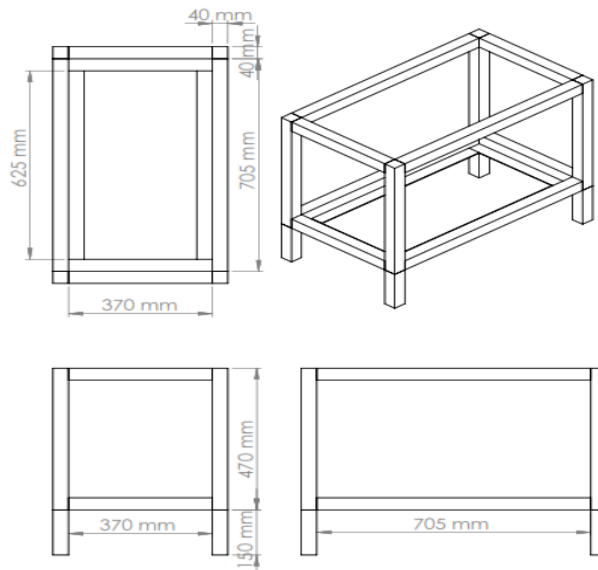
Tahap desain prototipe dimulai dengan merencanakan rangkaian dan skema kerja prototipe. Berikut adalah diagram kerja dari prototipe alat pengolah air balas kapal yang akan dibangun



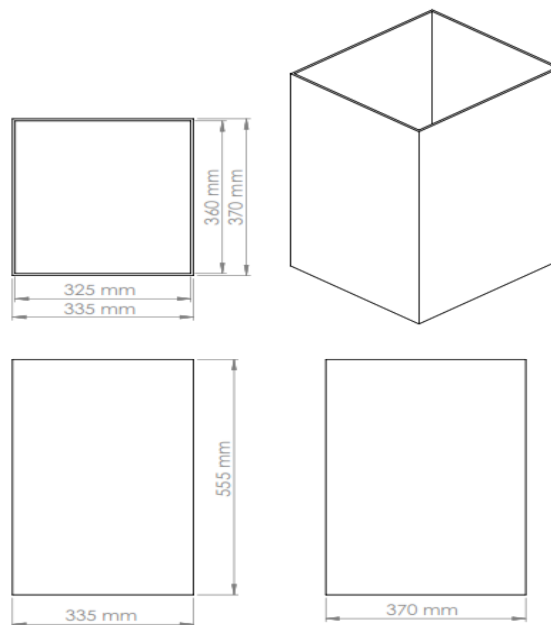
Gambar 4.1 Diagram Kerja Prototipe Pengolah Air Balas

Berdasarkan diagram di atas, prototipe pengolah air balas yang akan dibangun terdiri dari tangki nomor 1 yang berfungsi sebagai penampung air laut pada kondisi eksisting. Air dalam tangki ini akan dipompa menuju filter dengan debit yang bervariasi. Variasi debit di dalam sistem didapatkan dari pengaturan laju aliran air dengan menggunakan ball valve yang terletak pada discharge pompa. Ketika mengatur debit air balas dengan ball valve, dilakukan pula pemantauan pada flow meter yang terletak diantara ball valve dengan flow meter. Pemantauan ini dilakukan guna mengetahui nominal dari besaran debit air dalam sistem apakah telah sesuai dengan variasi debit yang telah ditentukan pada tabel 5.1. Setelah keluar dari flow meter, air balas akan masuk ke dalam filter guna menjalani proses penyaringan sedimen dan mikroba yang memiliki ukuran diatas 50 mikron. Setelah itu air balas akan masuk ke dalam reaktor UV untuk menjalani proses inaktivasi mikroba. Didalam reaktor UV terdapat dua buah lampu UV 30 watt. Dosis penyinaran lampu UV pada reaktor ini akan divariasikan berdasarkan ketentuan pada tabel 5.1. Variasi dosis UV dilakukan dengan mengatur tegangan listrik yang masuk ke dalam lampu UV dengan menggunakan regulator listrik. Setelah keluar dari reaktor UV, air balas akan ditampung pada tangki olahan. Dari tangki ini akan diambil sampel air balas untuk dianalisa jumlah mikroba yang terkandung di dalam air balas.

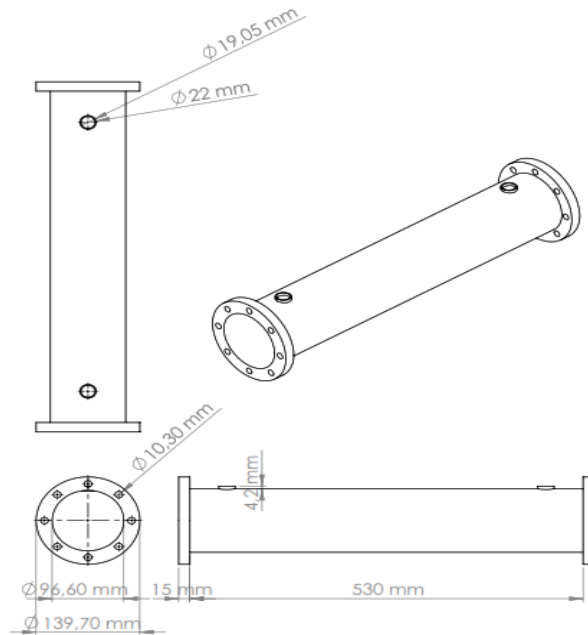
Setelah mendesain skema kerja dari prototipe, langkah selanjutnya dilakukan perancangan gambar desain prototipe. Berikut adalah gambar desain prototipe alat pengolah air balas kapal.



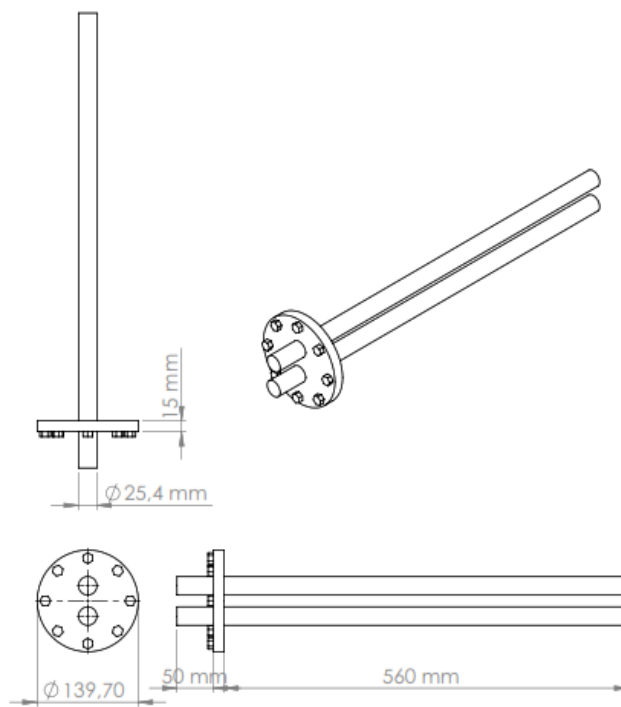
Gambar 4.2 Desain Rangka Prototipe



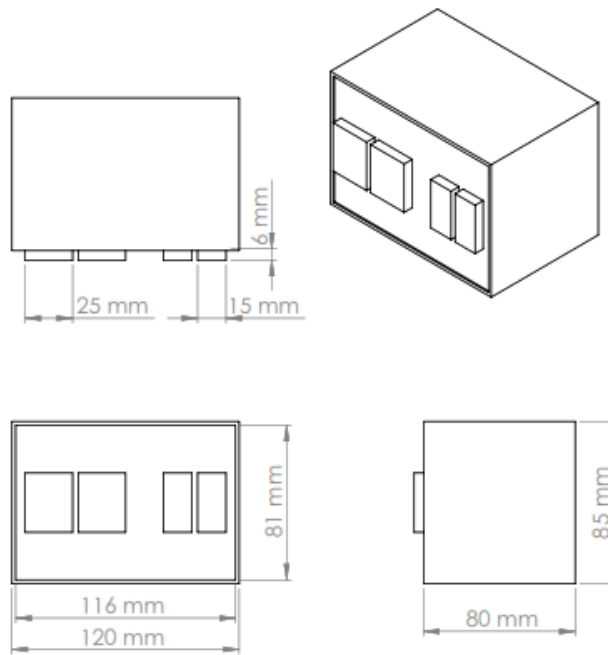
Gambar 4.3 Desain Tangki Air Balas



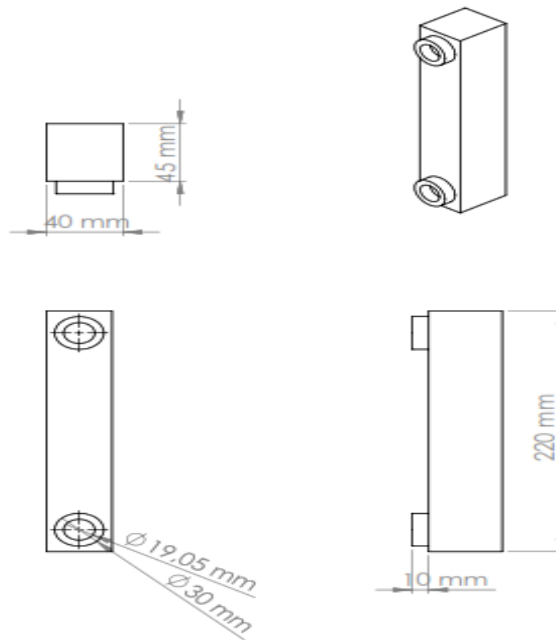
Gambar 4.4 Desain Reaktor UV



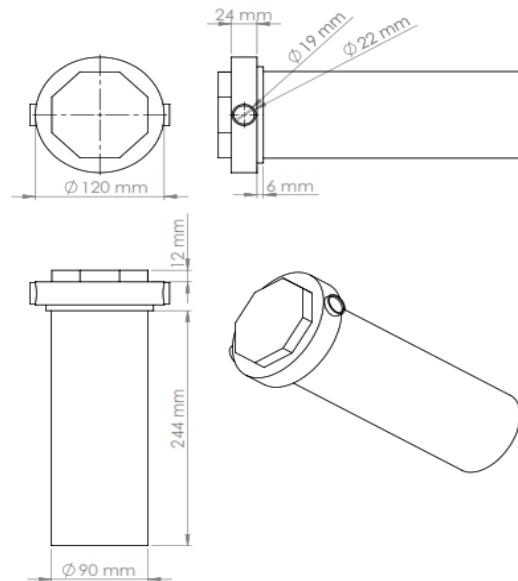
Gambar 4.5 Desain Flange &amp; Quartz Sleeve



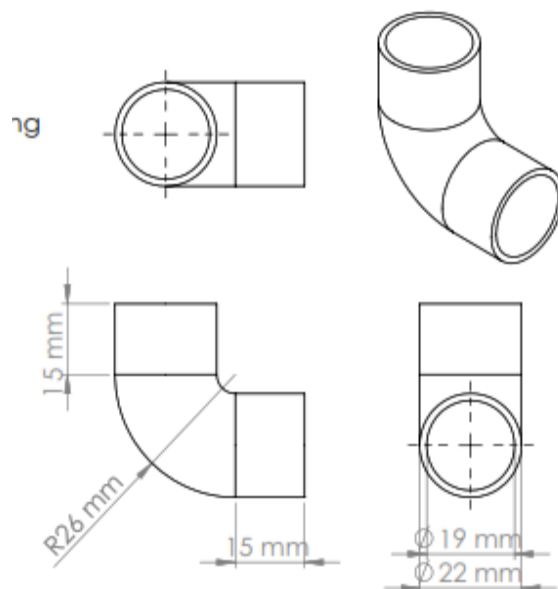
Gambar 4.6 Desain Panel Listrik



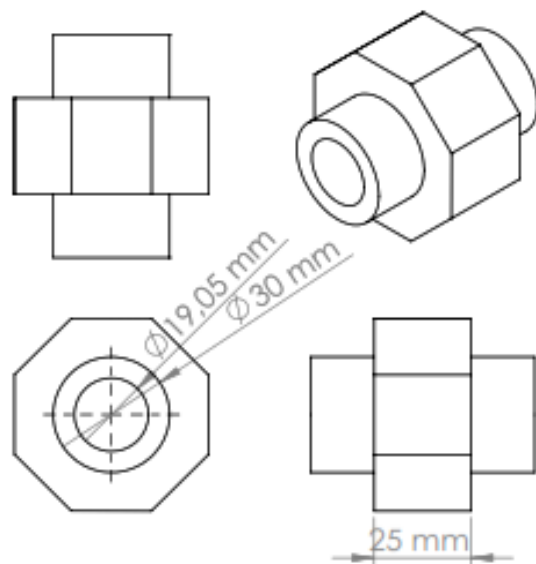
Gambar 4.7 Desain Flow Meter



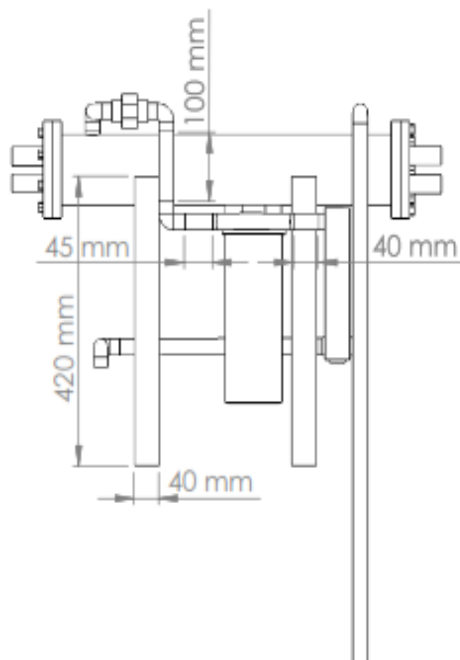
Gambar 4.8 Desain Rumah Filter



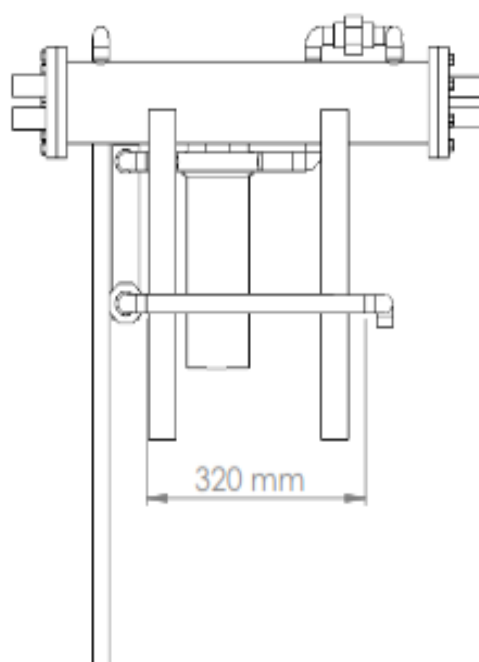
Gambar 4.9 Desain Elbow



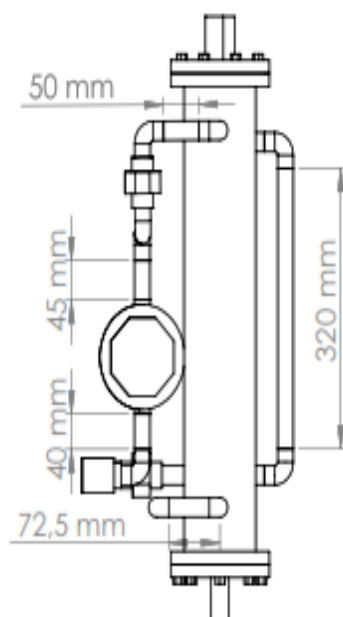
Gambar 4.10 Desain Union



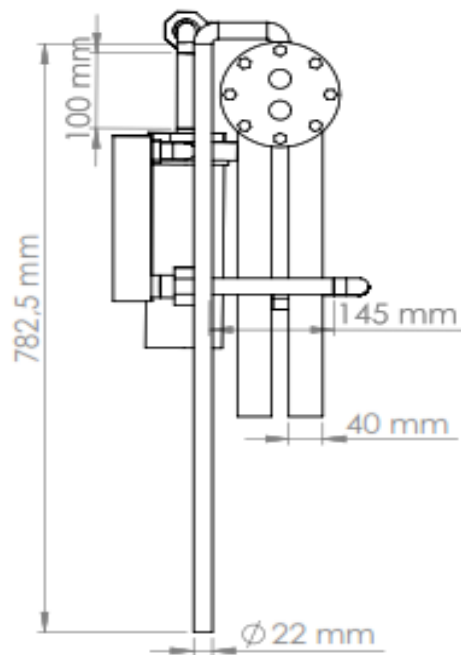
Gambar 4.11 Instalasi Pipa Tampak Depan



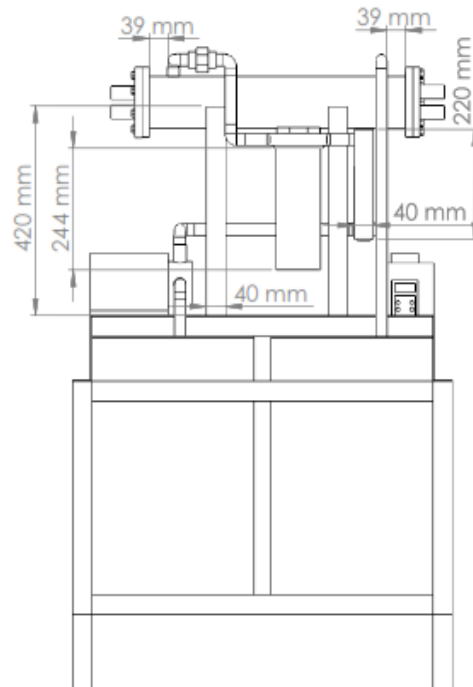
Gambar 4.12 Instalasi Pipa Tampak Belakang



Gambar 4.13 Instalasi Pipa Tampak Atas

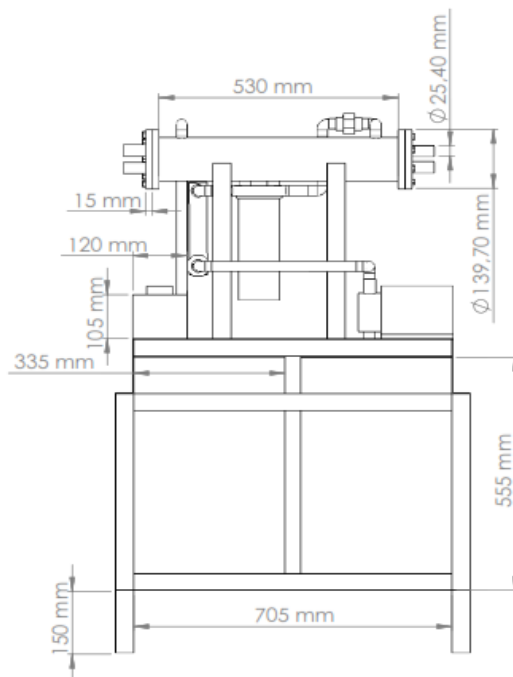


Gambar 4.14 Instalasi Pipa Tampak Samping

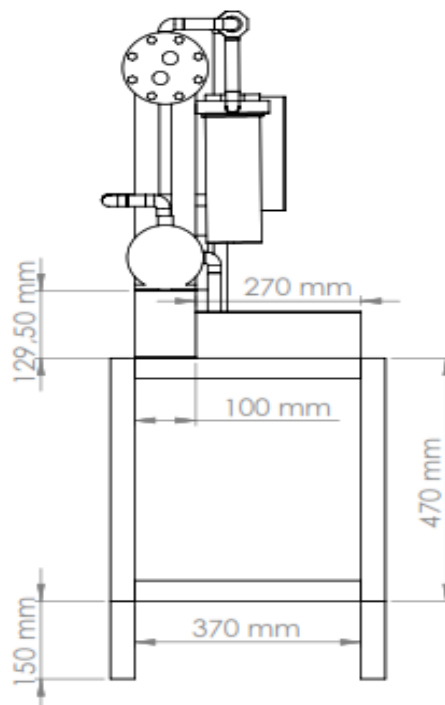


Gambar 4.15 Technical Drawing Assembly Prototipe Tampak Depan

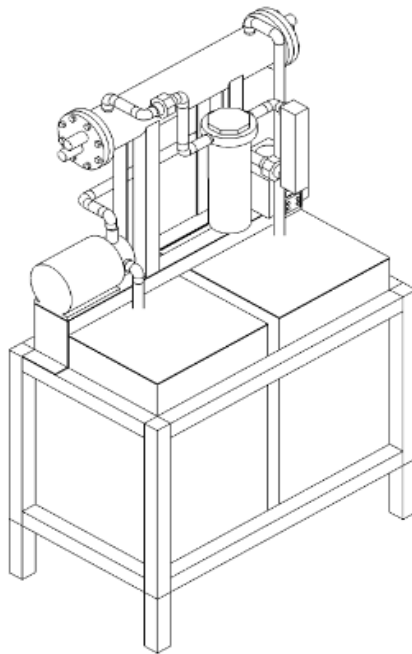




Gambar 4.16 Technical Drawing Assembly Prototipe Tampak Belakang



Gambar 4.17 Technical Drawing Assembly Prototipe Tampak Samping



Gambar 4.18 Technical Drawing Assembly Prototipe 3D

### 4.3 Perhitungan Head dan Kapasitas Pompa

Pada tahap ini dilakukan perhitungan head dan kapasitas yang dibutuhkan oleh pompa untuk mengalirkan air balas pada prototipe pengolah air balas. Berikut adalah proses perhitungan head dan kapasitas pompa pada prototipe alat pengolah air balas kapal

#### Perhitungan Head Pompa

- a. Head Statis
- b. Head Pressure
- c. Head Loss

- Perhitungan kecepatan aliran Air Pada reaktor UV

$$Q \text{ lampu UV } 30 \text{ watt} \times 2 \text{ buah} = 62 \text{ lpm}$$

$$\text{Diameter Pipa} = 4 \text{ inch} = 10,16 \text{ cm}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{62 \text{ liter/menit}}{3,14 \times 5,8^2 \text{ cm}^2}$$

$$V = \frac{62.000 \text{ cm}^3/\text{min}}{105,6296 \text{ cm}^2}$$

$$V = 586,9566 \text{ cm/min}$$

$$V = 0,09782 \text{ m/s}$$

- Perhitungan kecepatan aliran air pada pipa penghubung

$$Q = 62 \text{ lpm}$$

$$\text{Diameter Pipa} = 3/4 \text{ inch} = 1,905 \text{ cm}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{62 \text{ liter/menit}}{3,14 \times 0,9525^2 \text{ cm}^2}$$

$$V = \frac{62.000 \text{ cm}^3/\text{min}}{11,395 \text{ cm}^2}$$

$$V = 21,763 \text{ cm/min}$$

$$V = 3,62 \text{ m/s}$$

- Perhitungan head loss pada suction

Head loss mayor

Renould Number ( $Re$ )

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

$Re$  = Renould Number

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  = kecepatan fluida ( $\text{m/s}$ )

$d$  = diameter dalam pipa ( $\text{m}$ )

$\mu$  = viskositas kinematik fluida

$$Re = \frac{1025,87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3,62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,01905 \text{ m}}{0,8847 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 79964983,69$$

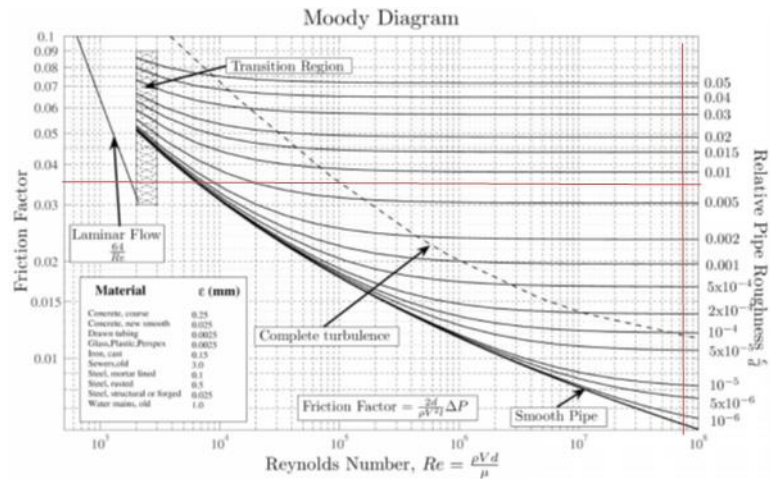
$$Re = 8 \times 10^7$$

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{0,015}{1,905}$$

$$\text{Relative pipe roughness} = 0,0078$$

Ploting bilangan Reynolds dan *relative pipe roughness* pada diagram Moody untuk mendapatkan nilai koefisien gesekan



Gambar 4.19 Diagram Moody

Dari plotting bilangan Reynolds dan *relative pipe roughness* pada diagram Moody didapatkan nilai koefisien gesekan sebesar 0,035.

Head Loss Mayor

$$H_f = f \frac{Lv^2}{2gD}$$

$H_f$  = head loss mayor

$L$  = panjang pipa (m)

$v$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$d$  = diameter dalam pipa (m)

$$H_f = 0,035 \times \frac{0,5 \text{ m} \times 3,62 \text{ m/s}^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,01905 \text{ m}}$$

$$H_f = 0,6141 \text{ m}$$

Head Loss Minor

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

$h$  = head loss minor (m)

$k$  = koefisien resistansi

$v$  = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$k$  = elbow (1 buah) = 1

$$h = 1 \times \frac{3,6^2}{2 \times 9,8}$$

$$h = 0,66122 \text{ m}$$

$$Hl \text{ Suction} = Hl \text{ mayor} + Hl \text{ minor}$$

$$Head \text{ loss suction} = 0,6141 \text{ m} + 0,66122 \text{ m}$$

$$Head \text{ loss suction} = 1,27532 \text{ m}$$

- Perhitungan head loss pada discharge (pipa ¾ inch)

Head loss mayor

Renould Number ( $Re$ )

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

$Re$  = Renould Number

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  = kecepatan fluida ( $\text{m/s}$ )

$d$  = diameter dalam pipa ( $\text{m}$ )

$\mu$  = viskositas kinematik fluida

$$Re = \frac{1025,87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3,62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,01905 \text{ m}}{0,8847 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 79964983,69$$

$$Re = 8 \times 10^7$$

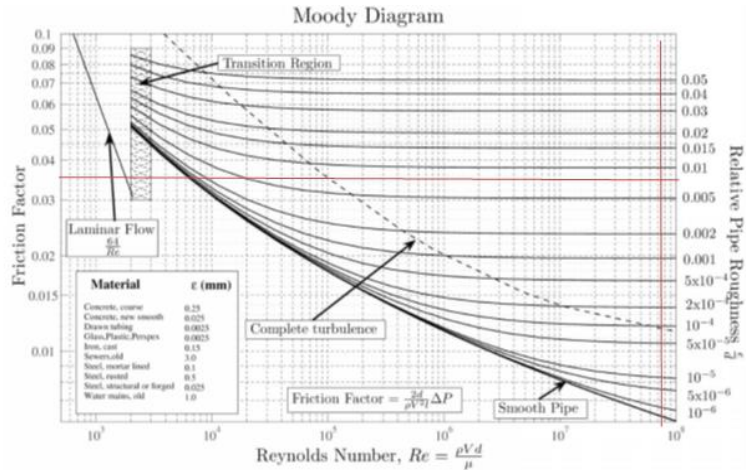
Relative pipe roughness

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{0,015}{1,905}$$

$$\text{Relative pipe roughness} = 0,0078$$

Ploting bilangan Reynolds dan *relative pipe roughness* pada diagram Moody untuk mendapatkan nilai koefisien gesekan



Gambar 4.20 Diagram Moody

Dari plotting bilangan Reynolds dan *relative pipe roughness* pada diagram Moody didapatkan nilai koefisien gesekan sebesar 0,035.

Head loss mayor

$$H_f = f \frac{Lv^2}{2gD}$$

$H_f$  = head loss mayor

$L$  = panjang pipa (m)

$v$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$d$  = diameter dalam pipa (m)

$$H_f = 0,035 \times \frac{0,805 \text{ m} \times 3,62^2 \text{ m/s}^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,01905 \text{ m}}$$

$$H_f = 0,988 \text{ m}$$

$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

$h$  = head loss minor (m)

$k$  = koefisien resistansi

$v$  = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$k$  = elbow (1 buah) = 1

Fitting	Koefisien resistansi	Jumlah	Koefisien resistansi x jumlah
Elbow 90°	0,75	7	5,25
Union	0,04	2	0,08
Filter	2,5	1	2,5
Gate valve	0,9	1	0,9
Koefisien resistansi total			8,73

$$h = 8,73 \times \frac{3,6^2}{2 \times 9,8}$$

$$h = 5,77 \text{ m}$$

Head loss discharge  $\frac{3}{4}$  inch = Head loss mayor + Head loss minor

$$Hl \text{ discharge pipa } \frac{3}{4} \text{ inch} = 0,988\text{m} + 5,77\text{m}$$

$$\text{Head loss discharge pipa } \frac{3}{4} \text{ inch} = 6,758 \text{ m}$$

- Perhitungan head loss pada discharge (Pipa reaktor UV 4 inch)  
*Renould Number (Re)*

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

*Re = Renould Number*

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$v$  = kecepatan fluida ( $\text{m}/\text{s}$ )

$d$  = diameter dalam pipa ( $\text{m}$ )

$\mu$  = viskositas kinematik fluida

$$Re = \frac{1025,87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,09782 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,01905 \text{ m}}{0,8847 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 11524383$$

$$Re = 1 \times 10^7$$

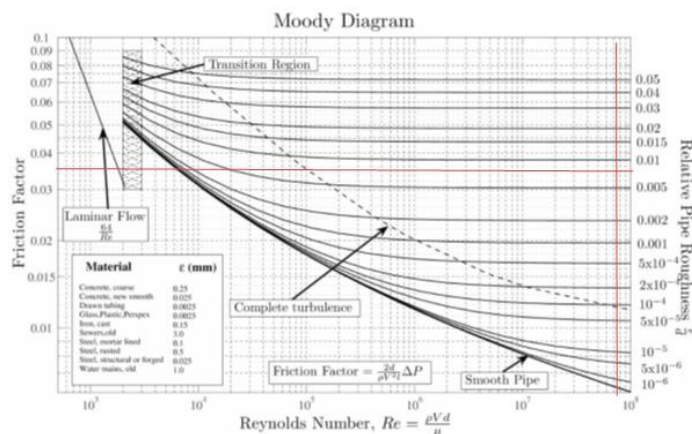
*Relative pipe roughness*

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$\text{Relative pipe roughness} = \frac{0,015}{10,16}$$

$$\text{Relative pipe roughness} = 0,001476$$

Ploting bilangan Reynolds dan *relative pipe roughness* pada diagram Moody untuk mendapatkan nilai koefisien gesekan



Gambar 4.21 Diagram Moody

Dari plotting bilangan Reynolds dan *relative pipe roughness* pada diagram Moody didapatkan nilai koefisien gesekan sebesar 0,0215.

Head loss mayor

$$H_f = f \frac{Lv^2}{2gD}$$

$H_f$  = head loss mayor

$L$  = panjang pipa (m)

$v$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$d$  = diameter dalam pipa (m)

$$H_f = f \frac{Lv^2}{2gD}$$

$$H_f = 0,0215 \times \frac{0,56 \text{ m} \times 0,09782^2 \text{ m/s}^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,1016 \text{ m}}$$

$$H_f = 5,785 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Head Loss Minor

Pada reaktor UV tidak terdapat fitting, sehingga tidak memiliki nilai head loss minor

$$Hl \text{ discharge pipa 4 inch} = Hl \text{ mayor} + Hl \text{ minor}$$

$$Head \text{ loss discharge pipa 4 inch} = 5,785 \text{ m} + 0 \text{ m}$$

$$Head \text{ loss discharge pipa 4 inch} = 5,785 \text{ m}$$

- Head Loss Total

HL = Head loss suction + head loss discharge pipa  $\frac{3}{4}$  inch + head loss discharge 4 inch



$$HL = 1,27532 \text{ m} + 6,758 \text{ m} + 5,785 \text{ m}$$

$$HL = 13,81832 \text{ m}$$

- Head Total

$$HT = \text{Head Pressure} + \text{Head Statis} + \text{Head Velocity} + \text{Head Loss}$$

$$HT = 0 + 1 \text{ m} + 0 + 13,81832 \text{ m}$$

$$HT = 14,81832 \text{ m}$$

### **Perhitungan Kapasitas Pompa**

Besarnya kapasitas pompa dipilih berdasarkan kemampuan lampu UV dalam inaktivasi mikroba pada debit tertentu. Dalam prototipe sistem pengolahan air balas yang dibuat, lampu UV yang digunakan memiliki daya 30 watt berjumlah dua buah. Lampu UV dapat digunakan untuk inaktivasi mikroba maksimal pada debit 8 GPM atau 30 lpm. Oleh karena itu dipilih kapasitas pompa sebesar 35 lpm untuk menjalankan prototipe pengolah air balas.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

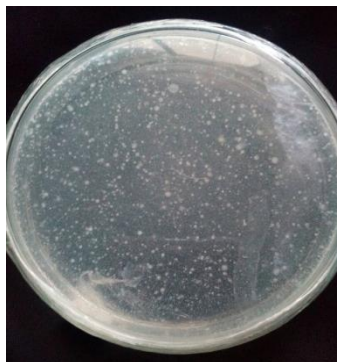
#### **5.1 Umum**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisa data dan pembahasan hasil eksperimen pengolahan air laut dengan menggunakan prototipe alat pengolah air balas kapal yang telah dibuat. Analisa data ini didapatkan dari hasil pengamatan lab mengenai jumlah mikroba yang terkandung di dalam air laut dengan keadaan air yang telah diolah dalam prototipe pengolah air balas serta air laut yang belum diolah. Pengamatan mikroba dalam penelitian ini menggunakan tiga metode, yaitu metode TPC dengan menggunakan medium natrium agar dan aquades, metode TPC dengan menggunakan medium natrium agar dan air laut steril dan metode Turbiditas. Dari hasil pengamatan ini akan diketahui apakah prototipe alat pengolah air balas kapal yang telah dibuat dapat bekerja dengan efektif dalam membunuh mikroba air patogen yang terkandung dalam air laut.

#### **5.2 Kandungan Mikroba dalam Air Laut Pada Kondisi Eksisting**

Analisa kandungan mikroba dalam sampel air laut pada kondisi eksisting ini dilakukan dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC), dengan menggunakan medium penumbuh bakteri berupa *Natrium agar* (Na). Pada analisa ini digunakan dua buah sampel air laut, yaitu sampel air laut dari Kenjeran dan Pelabuhan Tanjung Perak. Setelah diamati dengan metode TPC, sampel air laut Kenjeran mengandung mikroba sebanyak  $1,31 \times 10^5$  cfu (Gambar 5.1), sedangkan sampel air laut Pelabuhan Tanjung Perak mengandung mikroba sebanyak  $1.46 \times 10^3$  (Gambar 5.2).

Karena jumlah mikroba pada sampel air laut Kenjeran lebih banyak daripada sampel air laut Pelabuhan Tanjung Perak maka selanjutnya pada penelitian ini akan digunakan air laut yang berasal dari Kenjeran.



Gambar 5.1 Mikroba pada sampel air laut di Kenjeran



Gambar 5.2 Mikroba pada sampel air laut di Tanjung Perak

### 5.3 Pengaruh Filtrasi Dan Penyinaran UV Terhadap Kandungan Mikroba Dalam Air Laut

Analisa pengaruh filtrasi dan penyinaran UV terhadap kandungan mikroba dalam air laut dilaksanakan setelah dilakukan penyaringan air laut dengan debit 5 lpm, 10 lpm dan 20 lpm menggunakan filter karbon dan karet remah, serta penyinaran UV dengan dosis sebesar  $7,10 \text{ mW/cm}^2$ ,  $14,20 \text{ mW/cm}^2$  dan  $16,58 \text{ mW/cm}^2$ . Hasil filtrasi dan penyinaran UV kemudian dianalisa dengan menggunakan metode TPC dengan pelarut larutan air laut steril dan larutan aquades.

#### Analisa Kandungan Mikroba Air Laut Menggunakan Metode TPC Dengan Pelarut Air Laut Steril

Pada analisa kandungan mikroba air laut ini digunakan air laut steril sebagai pelarut medium Na. Air laut digunakan sebagai pelarut Na untuk memenuhi kadar salinitas yang diperlukan oleh bakteri laut agar dapat tumbuh dengan normal pada medium penumbuh bakteri. Dari pengamatan yang telah dilaksanakan dengan menggunakan metode ini didapatkan hasil seperti pada tabel 5.1 dan 5.2 berikut.

Tabel 5.1 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karbon

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV ( $\text{mW/cm}^2$ )	Jumlah Mikroba hidup (Cfu/ml)
1	5	30	7,10	$9,6 \times 10^4$
2	10	30	7,10	$1,5 \times 10^5$
3	20	30	7,10	$8,3 \times 10^6$
4	5	60	14,20	0
5	10	60	14,20	0
6	20	60	14,20	0
7	5	70	16,58	$7,2 \times 10^4$
8	10	70	16,58	$2,6 \times 10^2$
9	20	70	16,58	$7,5 \times 10^6$

Tabel 5.2 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karet Remah

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV (mW/cm <sup>2</sup> )	Jumlah Mikroba hidup (B) Cfu/ml
1	5	30	7,10	$4,0 \times 10^4$
2	10	30	7,10	$1,3 \times 10^3$
3	20	30	7,10	$1,1 \times 10^3$
4	5	60	14,20	$6,0 \times 10^9$
5	10	60	14,20	$1,0 \times 10^7$
6	20	60	14,20	$2,0 \times 10^9$
7	5	70	16,58	$3,1 \times 10^2$
8	10	70	16,58	$8,1 \times 10^2$
9	20	70	16,58	$1,0 \times 10^5$

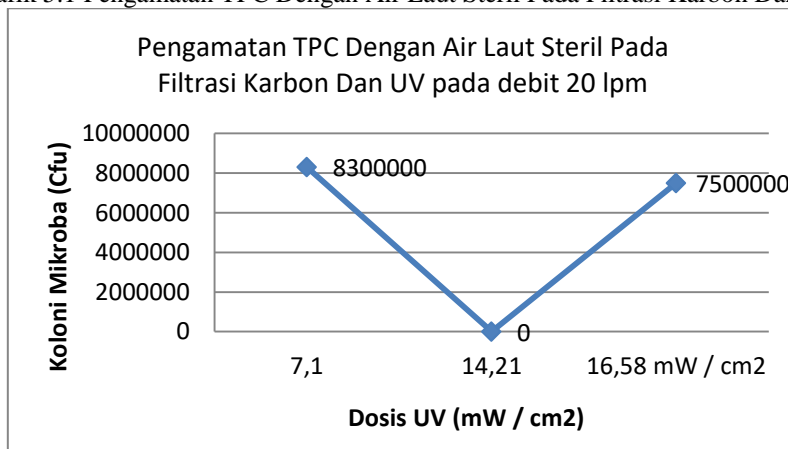
Tabel 5.1 merupakan hasil analisa kuantitatif mikroba air patogen pada sampel air laut yang telah diolah menggunakan filtrasi karbon dan radiasi sinar UV. Pada eksperimen nomor satu, dua dan tiga dalam Tabel 5.1, dengan pemberian perlakuan filtrasi menggunakan karbon dan radiasi sinar UV dengan dosis sebesar 7,10 mW/cm<sup>2</sup> didapatkan hasil bahwa pada ketiga sampel air laut masih terdapat mikroba air patogen yang hidup dalam medium agar. Dari jumlah bakteri yang terdapat di dalam air laut dalam kondisi eksisting sebanyak  $1,31 \times 10^5$  cfu, dengan adanya pengolahan ini jumlah bakteri berkurang paling banyak sejumlah  $3,5 \times 10^4$  cfu. Selanjutnya pada sampel nomor empat, lima dan enam pemberian dosis UV digandakan dua kali dari dari ketiga sampel sebelumnya menjadi 14,20 mW/cm<sup>2</sup>. Dengan pemberian dosis UV yang lebih besar ini menghasilkan inaktivasi yang sangat baik, yaitu pada ketiga sampel air tersebut tidak terdapat mikroba air patogen yang hidup, atau efektivitas inaktivasi sebesar 100%. Setelah dilakukan penyinaran menggunakan UV-C dengan dosis 7,10 mW/cm<sup>2</sup> dan 14,20 mW/cm<sup>2</sup>, pada eksperimen yang terakhir lampu UV-C dioperasikan pada kinerja maksimalnya sehingga menghasilkan dosis penyinaran UV sebesar 16,58 mW/cm<sup>2</sup> seperti pada sampel nomor tujuh, delapan dan sembilan pada Tabel 5.1. Ketika lampu UV diatur sedemikian rupa sehingga dapat memberikan dosis penyinaran maksimalnya, pada akhirnya dengan dosis maksimal tersebut lampu tidak dapat menginaktivasi mikroba dengan lebih baik, bahkan hasil inaktivasi yang didapatkan pada sampel nomor tujuh, delapan dan sembilan hampir sama dengan inaktivasi dengan menggunakan dosis UV sebesar 7,10 mW/cm<sup>2</sup>.

Tabel 5.2 merupakan hasil analisa kuantitatif mikroba air patogen pada sampel air laut yang telah diolah menggunakan filtrasi karbon dan radiasi sinar UV. Pada sampel nomor satu, dua dan tiga dalam Tabel 5.2, sampel air laut yang telah disaring menggunakan filter karet remah dan diradiasi menggunakan UV-C dengan dosis sebesar 7,10 mW/cm<sup>2</sup> menghasilkan inaktivasi yang lebih baik daripada inaktivasi dengan menggunakan filtrasi karbon dan UV dengan dosis yang sama pada sampel nomor satu, dua dan tiga pada Tabel 5.1. Namun hasil baik yang

diperoleh dari ketiga sampel pertama ini tidak dapat dipertahankan pada eksperimen selanjutnya. Hal ini terlihat pada sampel nomor empat, lima dan enam dengan pemberian dosis UV sebesar  $14,20 \text{ mW/cm}^2$  atau dua kali lebih besar daripada dosis awal ternyata menghasilkan inaktivasi yang lebih buruk daripada sebelumnya. Pada eksperimen yang terakhir dengan menggunakan filtrasi karet remah dan radiasi sinar UV pada performa maksimalnya sebesar  $16,58 \text{ mW/cm}^2$ , prototipe pengolah air balas dapat memberikan kinerja yang paling baik dari pengolahan sebelumnya. Pada eksperimen ini mikroba air patogen dapat diinaktivasi hingga  $1,3 \times 10^5 \text{ cfu}$ .

Pada pengamatan sampel air laut menggunakan metode TPC dengan medium agar dan air laut steril didapatkan hasil yang cenderung tidak konsisten. Hal ini seperti yang didapatkan pada sampel eksperimen dengan menggunakan filtrasi karbon seperti pada Grafik 5.1 berikut

Grafik 5.1 Pengamatan TPC Dengan Air Laut Steril Pada Filtrasi Karbon Dan UV



Grafik 5.1 memberikan informasi mengenai analisa kuantitatif mikroba air patogen pada sampel air laut yang telah diolah dalam prototipe pengolah air balas dengan perlakuan filtrasi karbon dan radiasi sinar UV dengan dosis  $7,1 \text{ mW/cm}^2$ ,  $14,21 \text{ mW/cm}^2$  dan  $16,58 \text{ mW/cm}^2$ . Pada dosis UV sebesar  $7,1 \text{ mW/cm}^2$  jumlah mikroba yang masih hidup dalam sampel air sebanyak  $8,3 \times 10^6 \text{ cfu}$ . Jumlah ini lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah mikroba pada sampel air balas kondisi eksisting sebesar  $1,31 \times 10^5 \text{ cfu}$ . Pada sampel nomor dua dilakukan penambahan dosis UV sebesar  $7,1 \text{ mW/cm}^2$ , sehingga dosis UV menjadi dua kali lebih kuat dibanding dengan dosis awal. Setelah diamati dengan menggunakan metode TPC, pada sampel nomor dua menunjukkan inaktivasi yang baik. Pada sampel ini tidak ada mikroba yang mampu bertahan hidup setelah dilakukan treatment pada air laut. Kinerja inaktivasi prototipe pada sampel nomor dua tidak didukung dengan konsistensi inaktivasi pada sampel nomor tiga. Pada sampel nomor tiga dengan pemberian dosis UV yang lebih besar daripada sampel nomor dua yaitu  $70 \text{ mW / cm}^2$ , menunjukkan bahwa mikroba yang hidup naik menjadi  $7.5 \times 10^6 \text{ Cfu}$ . Jumlah ini juga melebihi jumlah mikroba pada kondisi eksisting.

Inkonsistensi hasil uji sampel air laut dalam penelitian ini dihipotesiskan disebabkan oleh beberapa penyebab. Hipotesis pertama inkonsistensi disebabkan oleh faktor kinerja prototipe yang tidak dapat bekerja secara maksimal dalam memberikan *treatment* kepada air laut sehingga masih banyak jumlah mikroba yang hidup. Hipotesis kedua inkonsistensi disebabkan oleh adanya kontaminasi dari mikroba air laut yang berasal dari pengencer medium agar yang belum mati meskipun telah disterilisasi sebelumnya. Hipotesis ketiga inkonsistensi disebabkan oleh mikroba yang tumbuh dengan signifikan saat ditanamkan dalam medium agar. Mikroba tersebut tumbuh dengan signifikan karena mendapatkan lingkungan yang ideal yang memiliki salinitas, pH, kadar air dan faktor penunjang lainnya yang menunjang pertumbuhan mikroba.

Untuk membuktikan kebenaran dari ketiga hipotesis tersebut maka dilakukan eksperimen pengolahan air balas lagi dengan menggunakan prototipe yang telah dibangun, serta dilakukan analisa kandungan analisa kandungan mikroba air laut menggunakan metode tpc dengan pelarut larutan aquades steril dan metode turbiditas.

### **Analisa Kandungan Mikroba Air Laut Menggunakan Metode TPC Dengan Pelarut Larutan Aquades Steril**

Pada analisa kandungan mikroba air laut digunakan larutan aquades sebagai pelarut medium Na. Larutan aquades steril digunakan sebagai pelarut Na untuk memenuhi protokol pembuatan medium penumbuh bakteri pada metode TPC dan untuk menghindari potensi kontaminasi bakteri pada pembuatan medium agar. Dari pengamatan jumlah mikroba yang telah dilaksanakan dengan menggunakan metode ini didapatkan hasil seperti pada tabel 5.3 dan 5.4 berikut.

Tabel 5.3 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karbon

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV (mW/cm <sup>2</sup> )	Jumlah Mikroba hidup Cfu/ml
1	5	30	7,10	0
2	10	30	7,10	0
3	20	30	7,10	0
4	5	60	14,20	0
5	10	60	14,20	0
6	20	60	14,20	0
7	5	70	16,58	0
8	10	70	16,58	0
9	20	70	16,58	0

Tabel 5.4 Pengolahan Air Laut Dengan Filtrasi Karet Remah

No	Debit (lpm)	Daya Lampu (watt)	Dosis UV (mW/cm <sup>2</sup> )	Jumlah Mikroba hidup (A) Cfu/ml
1	5	30	7,10	0
2	10	30	7,10	10
3	20	30	7,10	0
4	5	60	14,20	0
5	10	60	14,20	0
6	20	60	14,20	0
7	5	70	16,58	0
8	10	70	16,58	0
9	20	70	16,58	0

Pada Tabel 5.3 ditunjukkan hasil analisa kuantitatif mikroba air patogen yang terdapat di dalam sampel air laut yang telah diolah dengan menggunakan filtrasi karbon dan radiasi sinar UV. Pada tabel tersebut didapatkan informasi bahwa pada sampel air laut 5 lpm, 10 lpm dan 20 lpm yang disinari oleh sinar UV dengan dosis 7,10 mW/cm<sup>2</sup>, 14,20 mW/cm<sup>2</sup> dan 16,58 mW/cm<sup>2</sup> tidak mengandung mikroba air patogen. Dengan demikian maka inaktivasi mikroorganisme pada air laut mencapai 100% dan hasil inaktivasi ini telah sesuai dengan standar IMO Ballast Water Convention yang mensyaratkan jumlah mikroba jenis vibrio cholerae kurang dari 1 cfu per 100 ml, Escherichia coli kurang dari 250 cfu per 100 ml dan intestinalenterococci kurang dari 100 cfu per 100 ml. Berbeda dengan hasil analisa kuantitatif pada Tabel 5.3, dalam Tabel 5.4 dimana air laut diolah dengan menggunakan filtrasi karet remah dan radiasi sinar UV dengan dosis yang sama dengan Tabel 5.1 menunjukkan hasil bahwa pada semua sampel air laut tidak mengandung mikroba air patogen kecuali pada sampel nomor dua masih terdapat 10 cfu mikroba air patogen yang masih.

Dengan membandingkan hasil eksperimen pada Tabel 5.3 dengan Tabel 5.4 maka dapat dianalisa bahwa inaktivasi mikroorganisme selain dipengaruhi oleh dosis radiasi sinar UV juga dipengaruhi oleh jenis filter yang digunakan untuk menyaring air laut. Dari eksperimen yang telah dilaksanakan didapatkan hasil bahwa kinerja filter karbon lebih baik daripada filter karet remah. Kinerja penyaringan karbon yang lebih baik daripada karet remah dapat disebabkan oleh kerapatan lubang penyaring yang dimiliki oleh filter karbon yang lebih rapat daripada karet remah. Dengan keadaan tersebut maka menyebabkan jumlah mikroba yang lolos dari filter karet remah lebih banyak daripada filter karbon sehingga saat proses inaktivasi di dalam reaktor UV sinar UV tidak dapat mematikan seluruh mikroba air patogen.

Hasil pengamatan mikroba air laut menggunakan metode ini telah sesuai dengan protokol pengujian, namun dari hasil yang didapat diduga terjadi pembiasan dalam perhitungan jumlah mikroba. Pembiasan perhitungan ini dapat terjadi karena penggunaan larutan aquades sebagai campuran dalam pembuatan medium agar. Larutan aquades yang memiliki salinitas lebih rendah dari salinitas air laut diduga



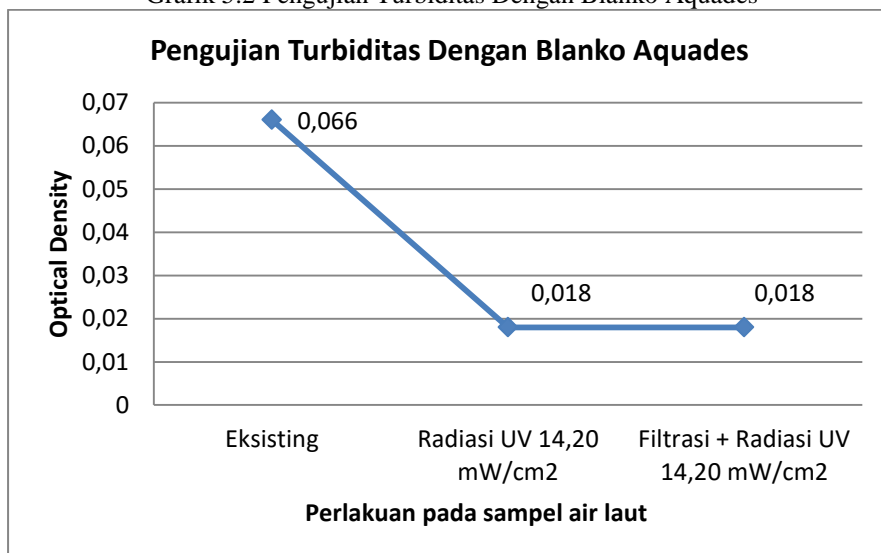
kurang cocok apabila digunakan sebagai pengencer media penumbuh mikroba. Kondisi ini diduga menyebabkan mikroba yang ditumbuhkan dalam medium agar tidak mendapatkan salinitas yang sesuai dengan kondisi lingkungan bakteri berasal, sehingga dapat menghambat atau membunuh bakteri yang ditumbuhkan pada medium tersebut.

Untuk mengkaji pengaruh kadar salinitas terhadap pertumbuhan bakteri maka dilakukan perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Adapun pengujian lanjutan yang dilakukan untuk menganalisa pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan mikroba dalam medium agar adalah dengan menggunakan metode turbiditas, yaitu pengujian kadar kekeruhan sampel air yang disebabkan oleh kandungan mikroba dengan menggunakan alat spektrofotometer.

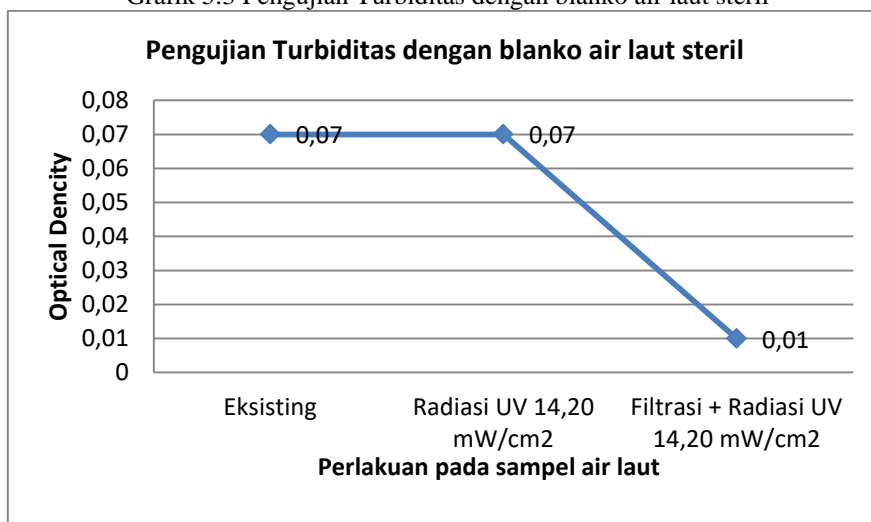
### **Analisa Kandungan Mikroba Air Laut Menggunakan Metode Turbiditas**

Pada analisa kuantitatif mikroba menggunakan metode turbiditas, jumlah mikroba dalam sampel didapatkan dari pengamatan tingkat kekeruhan sampel yang nilainya dimunculkan dari alat spektrofotometer dengan satuan *Optical Density* (OD). Pada uji kekeruhan ini digunakan dua buah blanko berupa larutan aquades steril dan air laut steril. Adapun hasil analisa kuantitatif mikroba air laut menggunakan metode turbiditas dapat dilihat pada Grafik 5.2 dan Grafik 5.3 berikut.

Grafik 5.2 Pengujian Turbiditas Dengan Blanko Aquades



Grafik 5.3 Pengujian Turbiditas dengan blanko air laut steril



Grafik 5.2 memberikan informasi mengenai hasil pengujian tingkat kekeruhan air laut pada kondisi sebelum dan setelah diolah menggunakan metode filtrasi dan radiasi sinar UV. Pada tahap pertama dalam rangkaian pengujian ini dilakukan pengujian terhadap air laut pada kondisi eksisting. Pada pengujian ini didapatkan nilai OD yang dimiliki oleh air laut pada kondisi eksisting adalah sebesar 0,066. Pada tahap kedua dilakukan pengujian terhadap sampel air laut yang telah diradiasi oleh UV-C dengan dosis sebesar 14,20 mW/cm<sup>2</sup>. Pada sampel ini didapatkan nilai OD sebesar 0,018. Pada tahap ketiga dilakukan pengujian terhadap sampel air laut yang telah diolah dengan menggunakan metode radiasi sinar UV dan filtrasi. Dari pengujian ini didapatkan nilai OD yang sama dengan nilai OD pada pengujian kedua. Dari pengujian turbiditas yang telah dilakukan pada sampel air laut dengan tiga kondisi yang berbeda dapat disimpulkan bahwa radiasi sinar UV memberikan peran yang paling besar dalam proses inaktivasi mikroba dalam air balas. Hal ini dapat dilihat dari penurunan nilai OD pada sampel air laut kondisi eksisting berkurang 0,048 setelah air diradiasi dengan UV-C.

Grafik 5.3 memberikan informasi mengenai hasil pengujian tingkat kekeruhan air laut pada kondisi sebelum dan setelah diolah menggunakan metode filtrasi dan radiasi sinar UV. Pada tahap pertama dalam rangkaian pengujian ini dilakukan pengujian terhadap air laut pada kondisi eksisting. Pada pengujian ini didapatkan nilai OD yang dimiliki oleh air laut pada kondisi eksisting adalah sebesar 0,070. Pada tahap kedua dilakukan pengujian pada sampel air laut yang telah diradiasi menggunakan UV-C dengan dosis sebesar 14,20 mW/cm<sup>2</sup>. Pada pengujian ini didapatkan nilai OD yang sama seperti nilai OD pada pengujian air laut kondisi eksisting. Pada pengujian ketiga dilakukan pengujian turbiditas pada sampel air laut yang telah dilakukan filtrasi dan radiasi sinar UV. Pada pengujian ini didapatkan nilai OD sebesar 0,010.

Hasil uji turbiditas dengan menggunakan blanko aquades dengan blanko air laut steril pada Grafik 5.2 dan Grafik 5.3 menunjukkan nilai inaktivasi yang relatif sama. Hal ini dapat dilihat dari pengujian air laut pada kondisi eksisting ketika

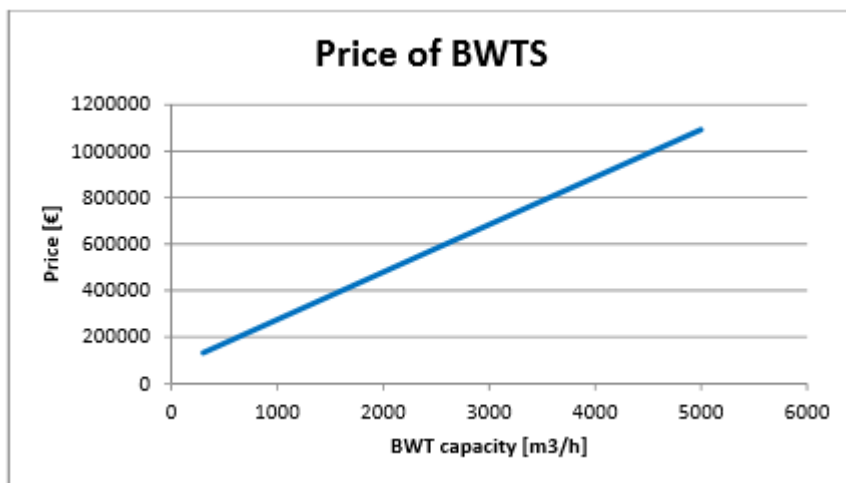
sampel diuji dengan menggunakan blanko larutan aquades menunjukkan nilai OD sebesar 0,066 sedangkan dengan menggunakan air laut steril nilai ODnya sebesar 0,070. Perbedaan nilai OD yang didapat dari kedua sampel mungkin terjadi dikarenakan oleh pengaruh kadar salinitas. Salinitas yang tidak sesuai dengan kondisi eksisting mikroba seperti pada blanko aquades memungkinkan mikroba akan mengalami lisis saat proses pengenceran, sehingga ketika diuji dengan alat spektrofotometer akan menghasilkan nilai yang lebih rendah daripada sampel yang diuji dengan blanko air laut steril. Nilai ini membuktikan bahwa perbedaan keadaan lingkungan pertumbuhan mikroba seperti perbedaan salinitas akan mempengaruhi pertumbuhan mikroba, sehingga hal ini akan mengakibatkan hasil perhitungan mikroba dengan menggunakan pengencer aquades akan memiliki nilai yang tidak valid, atau terdapat kebiasaan. Namun walaupun demikian perbedaan nilai yang dihasilkan dari pengujian OD ini sangat kecil, yaitu 0,004. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh dari salinitas tidak begitu besar. Selain itu pengujian turbiditas pada sampel air laut yang telah diolah menggunakan filter dan radiasi sinar UV dengan dosis sebesar  $14,20 \text{ mW/cm}^2$  pada Grafik 5.2 dan 5.3 juga menunjukkan hasil inaktivasi yang relatif sama, yaitu penurunan nilai OD menjadi 0,018 pada pengujian menggunakan blanko aquades dan 0,010 pada pengujian menggunakan blanko air laut steril. Dengan hasil yang didapat ini maka didapatkan kesimpulan bahwa hipotesis mengenai prototipe pengolah air balas tidak dapat bekerja dengan baik pertama dinilai kurang tepat karena prototipe dapat menginaktivasi mikroba dengan baik ketika ketika mengkombinasi antara penyinaran UV dengan filtrasi. Pada hipotesis kedua, dimana inkonsistensi inaktivasi disebabkan oleh kontaminasi mikroba air laut pada medium agar dinilai memiliki potensi yang sangat kecil. Hal ini disebabkan endospora mikroba butuh waktu lebih dari 24 jam hingga dapat tumbuh pada medium agar, sedangkan pada pengujian TPC waktu inkubasi yang digunakan adalah 12 jam. Hipotesis ketiga dinilai menjadi hipotesis yang paling memungkinkan terjadi daripada hipotesis yang lainnya. Menurut Aguskriono (2011), Dari suatu percobaan dengan *Escherichia coli* dapat diketahui, bahwa bakteri ini tiap 20 menit mengadakan divisio, jika faktor-faktor luar seperti medium, kebasahan, pH, temperatur itu tetap baik. Kita dapat menghitung, betapa besar jumlah 1 *E. coli* setelah dibiarkan berbiak 24 jam, yaitu  $2^{72} = 2^2 \times 2^{70}$  atau lebih dari  $4 \times 10^{21}$ . Dari hal tersebut maka besar kemungkinan medium agar yang telah dicampur dengan air laut steril menjadi lingkungan yang ideal bagi mikroba untuk bereproduksi, sehingga dalam kurun waktu inkubasi selama 12 jam mikroba tumbuh secara signifikan.

Dengan hasil yang didapatkan dari analisa kuantitatif menggunakan metode TPC dengan pelarut air laut steril dan larutan aquades, serta dengan menggunakan metode Turbiditi, maka dapat disimpulkan bahwa hasil analisa kuantitatif yang merepresentasikan kinerja prototipe pengolah air balas adalah pada analisa kuantitatif menggunakan metode TPC dengan pengencer larutan aquades, dan uji turbiditi. Sedangkan hasil analisa kuantitatif dengan menggunakan metode TPC dengan pelarut air laut steril dinilai tidak dapat merepresentasikan kinerja prototipe karena terjadi kontaminasi bakteri pada medium agar yang berasal dari air laut yang digunakan sebagai pengencer medium.

#### 5.4 Estimasi Biaya Investasi Pengaplikasian Prototipe Pengolah Air Balas di Kapal

Pada sub bab ini dilakukan perhitungan estimasi biaya pembangunan alat pengolah air balas yang akan diaplikasikan di kapal. Estimasi perhitungan biaya pembangunan alat ini mengacu pada biaya pembangunan dan hasil eksperimen prototipe pengolah air balas yang telah dilakukan sebelumnya. Adapun data dari hasil eksperimen yang diambil sebagai acuan spesifikasi alat pengolah air balas skala industri ini adalah kemampuan inaktivasi prototipe, dimana untuk menginaktivasi mikroba air patogen pada air balas yang mengalir dengan debit 20 lpm membutuhkan dosis UV sebesar  $7,10 \text{ mW/cm}^2$ , atau satu buah lampu UV-C yang memiliki daya sebesar 30 watt. Selain mengambil data dari hasil eksperimen, dalam perhitungan ini juga digunakan data mengenai estimasi harga investasi alat pengolah air balas yang berasal dari jurnal "*Evaluating the costs arising from new maritime environmental regulations*" (Grafik 5.4). Informasi estimasi harga pembangunan alat pengolah air balas dari jurnal ini akan digunakan sebagai pembanding besar investasi yang dikeluarkan untuk membangun alat pengolah air balas.

Grafik 5. 4 Harga investasi pembangunan alat pengolah air balas sebagai fungsi dari kapasitas pengolahan air balas (Henrik Bachér,2013)



Grafik 5.4 merupakan grafik yang menggambarkan biaya investasi yang harus dikeluarkan untuk pembangunan alat pengolah air balas berdasarkan kapasitas pengolahan air balas. Dari Grafik 5.4 akan diambil nilai kapasitas pengolahan air balas sebagai acuan dalam simulasi perhitungan biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas. Adapun simulasi perhitungan biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas adalah seperti pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Simulasi perhitungan biaya pembangunan alat pengolah air balas kapal

Biaya pembangunan reaktor UV					
1	Kapasitas discharge	1000,00	m <sup>3</sup> /h		
		16700	lpm		
No	Alat	jumlah	Satuan	Harga (Rp)	Jumlah (Rp)
1	UV 200 watt	125	Buah	3.985.072	499.130.268
2	Adaptor	125	Buah	906.304	113.514.576
3	Selongsong kaca	125	Buah	3.332.000	417.333.000
4	reaktor	1	Buah	10.000.000	10.000.000
5	Filter	1	Buah	5.000.000	5.000.000
<b>JUMLAH (IDR)</b>					<b>1.044.977.844</b>
<b>JUMLAH (€)</b>					<b>60350,45844</b>

Pada Tabel 5.5 dijelaskan mengenai simulasi perhitungan biaya pembangunan alat pengolah air balas kapal. Pada simulasi perhitungan tersebut, alat pengolah air balas didesain memiliki kemampuan inaktivasi maksimal pada kapasitas 1000 m<sup>3</sup>/h. Untuk mendapatkan kemampuan inaktivasi tersebut maka prototipe pengolah air balas didesain menggunakan lampu UV-C dengan daya sebesar 200 watt berjumlah 125 buah. Setelah dilakukan perhitungan kebutuhan daya lampu selanjutnya dilakukan perhitungan biaya investasi pembangunan alat. Dari perhitungan yang telah dilakukan menghasilkan biaya investasi pembangunan pengolah air balas untuk kapasitas discharge 1000 m<sup>3</sup>/h sebesar € 60350,45844.

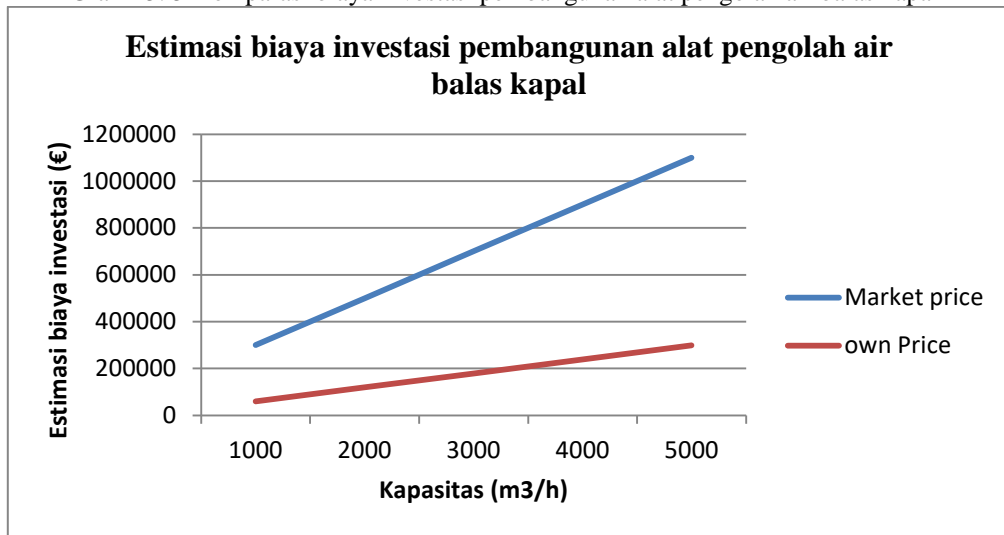
Dengan menggunakan simulasi yang sama seperti pada Tabel 5.5, berikut pada Tabel 5.6 diberikan hasil simulasi perhitungan investasi pembangunan alat pengolah air balas.

Tabel 5. 6 Estimasi biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas kapal

No	Kapasitas Inaktivasi (m <sup>3</sup> /h)	Estimasi Harga (Rp)	Estimasi Harga (€)
1	1000	1.044.977.844	60350,45844
2	2000	2.074.955.688	119834,624
3	3000	3.104.933.532	179318,7895
4	4000	4.134.911.376	238802,9551
5	5000	5.164.889.220	298287,1207

Dari hasil simulasi yang telah didapatkan maka selanjutnya dilakukan komparasi biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas dengan menggunakan data dari Grafik 5.4. Adapun hasil komparasi biaya pembangunan ini dapat dilihat pada Grafik 5.5 berikut.

Grafik 5. 5 Komparasi biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas kapal



Grafik 5.5 menggambarkan komparasi investasi pembangunan alat pengolah air balas antara produk yang telah ada di pasaran (garis biru) dengan produk yang akan dikembangkan (garis merah). Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas buatan sendiri lebih rendah daripada produk di pasaran. Selain itu dengan semakin besar kapasitas yang dimiliki oleh pengolah air balas akan menghasilkan keuntungan biaya yang semakin besar. Dari estimasi harga yang didapatkan maka dapat diambil kesimpulan bahwa investasi pembangunan alat pengolah air balas akan bernilai lebih ekonomis daripada investasi pada merek yang telah ada di pasaran. Namun hasil perhitungan estimasi biaya investasi pembangunan alat pengolah air balas ini masih merupakan perhitungan dasar, oleh karena itu untuk mendapatkan estimasi harga yang valid perlu dilakukan studi lebih lanjut.

## **BAB IV**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian pengolahan air balas dengan menggunakan prototipe pengolah air balas yang telah dibangun adalah sebagai berikut :

1. Prototipe pengolah air balas dapat melakukan inaktivasi mikroba pada sampel air laut kenjeran sebesar 99% ketika prototipe dijalankan menggunakan filtrasi karbon atau karet remah dengan debit air maksimal sebesar 20 lpm dan penyinaran UV dengan dosis minimal sebesar  $7,10 \text{ mW} / \text{cm}^2$ .
2. Filter karbon memiliki kinerja yang lebih baik dalam penyaringan air balas daripada filter karet remah. Hal ini ditunjukkan pada sampel air laut yang diolah pada debit 10 lpm dengan dosis UV sebesar  $7,10 \text{ mW} / \text{cm}^2$ , pada filtrasi karbon jumlah bakteri yang tumbuh sebanyak 0 Cfu, sedangkan pada filtrasi karet remah bakteri yang tumbuh sebanyak 10 Cfu.
3. Tidak ada pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan laju aliran air balas di dalam reaktor UV terhadap dosis UV yang diperlukan untuk inaktivasi mikroba air patogen. Hal ini ditunjukkan dari hasil analisa kuantitatif mikroba air patogen yang menunjukkan bahwa tidak ada penambahan jumlah mikroba yang hidup meskipun laju aliran air balas dalam reaktor UV diperbesar. Namun demikian, kesimpulan ini perlu dikaji lagi karena kemungkinan dosis UV yang diberikan sudah melebihi spesifikasi yang diperlukan untuk inaktivasi mikroba pada laju aliran air balas yang paling besar.

#### **5.2 Saran**

Untuk menyempurnakan penelitian ini maka terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya, antara lain

1. Untuk mendapatkan jumlah mikroba air patogen yang terkandung di dalam air balas dengan jumlah yang kredibel perlu dilakukan pengamatan dengan menggunakan metode MPN. Dengan metode ini akan dapat diketahui jumlah mikroba air patogen berdasarkan jenis mikrobanya.
2. Perlu dilakukan scalling up prototipe untuk mengetahui apakah prototipe dapat menghasilkan kinerja yang konsisten.
3. Perlu dilakukan pengamatan mengenai pengaruh turbulensi air balas di dalam reaktor UV terhadap inaktivasi mikroba oleh UV
4. Perlu dilakukan kajian mengenai sebaran cahaya di dalam reaktor UV untuk menjadi pertimbangan pengembangan desain reaktor UV yang efisien dalam inaktivasi mikroba air patogen.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

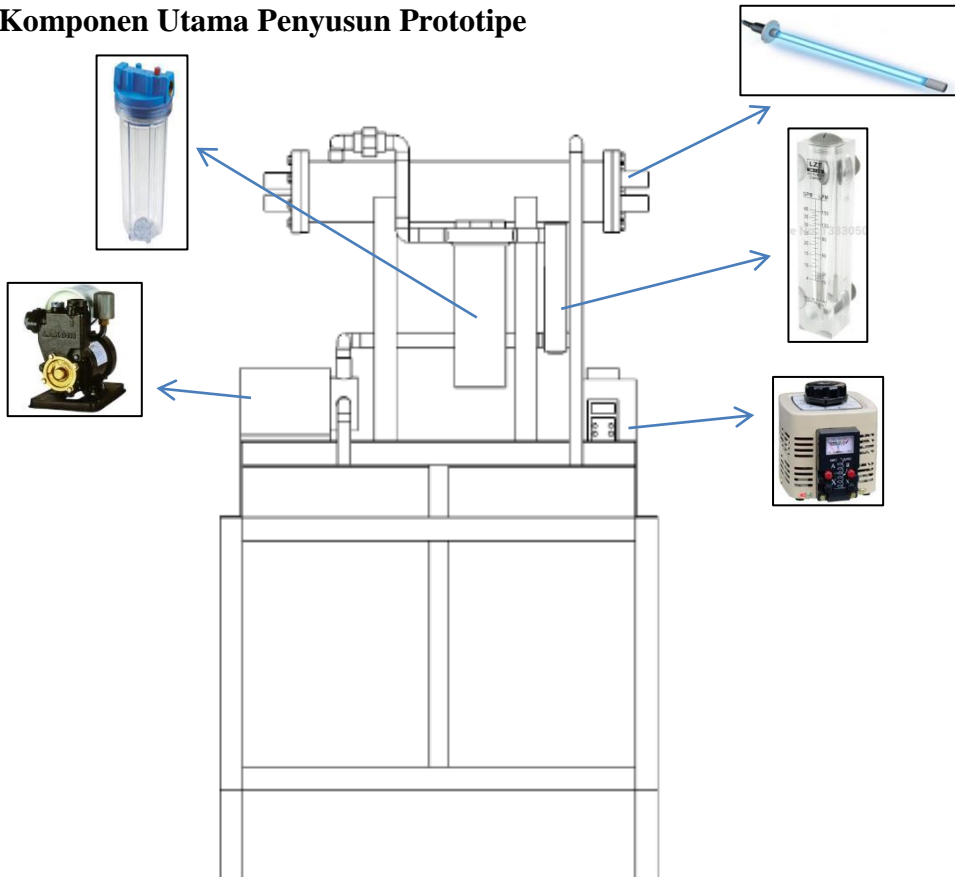


## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Nadem. (2016). *Ballast Water Management*, third edition. Witherby Publishig. Edinburgh
- Cahyonugroho, Okik (2014). *Pengaruh Intensitas Sinar Ultraviolet Dan Pengadukan Terhadap Reduksi Jumlah Bakteri E.Coli*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.2 No. 1
- Daidy. 2004. *Aplikasi Sistem Penanganan Air Balas dengan Metode Penyinaran UV dan Perlakuan Panas pada Kapal "STAR 50" Buatan PT. PAL*. Skripsi pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Danang. 2006. *Kajian Percobaan Penanganan Air Balas Dengan Kombinasi Metode Perlakuan Panas dan Penyinaran UV*. Skripsi pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Dhanang. 2007. *Analisa Teknis Ekonomis Pengaruh Perlakuan Khusus Sistem Balas dengan UV pada Kapal dan Lingkungan Perairan*. Skripsi pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS.
- Dian, 2017, TPC. Dilihat 18 Juli 2017, <http://www.infolaborat.com/2017/04/total-plate-count.html>
- Electric Power Research Institute (EPRI). 1999. Pulsed-Ultraviolet Light for Drinking Water Disinfection. <http://www.epri.com/>
- European Maritime Safety Agency. "Ballast Water". 5 Februari 2017. <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/environment/ballast-water.html>
- Guelin A., Lepine P., Lamblin D. 1967. Pouvoir bactericide des eaux polluees et role Bdellovibrio bacteriovorus. Ann. Inst. Pasteur Paris. 113, 660.
- Harley dan Prescott. 2002. *Laboratory Exercises in Microbiology*. Fifth Edition. New York: McGraw-Hill Companies.
- Jannasch, H.W. (1968) Competitive elimination of Enterobacteriaceae from seawater. Appl. Microbiol. 16, 1616-1618
- Jelmert, A. 1999. Testing the Effectiveness of an Integrated Hydrocyclone/UVtreatment System for Ballast Water. Havforskninginstituttet; ordered and founded by OptiMarin Marketing A/S.
- Jukka Sassi, Satu Viitasalo, Jorma Rytönen & Erkki Leppäkoski. 2005. Experiments with ultraviolet light, ultrasound and ozone technologies for onboard ballast water treatment. VTT RESEARCH NOTES 2313
- Julistri, Bertha, 2010, *Perhitungan Bakteri Pada Media Na (Nutrien Agar)*. Dilihat 17 Januari 2017, [http://btagallery.blogspot.co.id/2010/02/blog-post\\_6125.html](http://btagallery.blogspot.co.id/2010/02/blog-post_6125.html)
- Kimia, Dunia, 2014, *Total Plate Count (TPC)*, Dilihat 25 Januari 2017, <http://duniachemistry.blogspot.co.id/2015/11/total-plate-count-tpc.html>
- Li, H.Y., Osman, H., Kang, C.W. & Ba, T. 2016. *Numerical and experimental investigation of UV disinfection for water treatment*. Applied Thermal Engineering, 280-291.
- Li, Wentao, Li, Mengkai, Bolton, James R., Qu, Jiuhui & Qiang, Zhimin. 2016. *Configuration optimization of UV reactors for water disinfection with*

- computational fluid dynamics: Feasibility of using particle minimum UV dose as a performance indicator*. Chemical Engineering Journal, 1-8.
- Mitchel, R., Morris J.C. 1969. The fate of interstitial bacteria in the sea. (In): Advances in water pollution research (Ed. Jenkins, S.H.). Pergamon Press, London.
- Mitchel, R., Morris J.C. 1969. The fate of interstitial bacteria in the sea. (In): Advances in water pollution research (Ed. Jenkins, S.H.). Pergamon Press, London.
- Niewolak S., Kopij H., Chomutowska H. 1996. Influence of some heavy metals on the survival of heterotrophic bacteria in bottom sediments of eutrophic lake. Pol. J. Environ. Stud. 5, 21.
- Ren, Z.J., Zhang, L., Shi, Y., Shao, J. C., Leng, X. D. & Zhao, Y. 2016. *Microorganism Removal from Ballast Water using UV Irradiation*. Journal of Residuals Science & Technology, 13(1), 31-35.
- Setiawan, Ayu, 2013. *laporan lengkap mikrobiologi pembuatan medium agar (NA)*, Dilihat 12 Januari 2017, <http://dewamikrobiologi.blogspot.co.id/2013/06/laporan-lengkap-mikrobiologi-pembuatan.html>
- Sultan, Tipu. 2016. *Numerical study of the effects of lamp configuration and reactor wall roughness in an open channel water disinfection UV reactor*. Chemosphere, 171-179.
- Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F., 2006a. Crumb rubber filtration: a potential technology for ballast water treatment. Mar. Environ. Res. 61, 410–423.
- Tang, Z., Butkus, M.A., Xie, Y.F., 2006b. The effects of various factors on ballast water treatment using crumb rubber filtration: pilot study and statistic analysis. Environ. Eng. Sci. 23, 561–569.
- USEPA. Ultraviolet Disinfection Guidance Manual (UVDGM): Proposal draft. GroundWater and Drinking Water, Washington 2003.
- Wu, Donghai, You Hong, Zhang, Ran, Zhang, Chen, Chuan & Lee, Duu-Jong. 2011. *Inactivation of Amphidinium sp. in ballast waters using UV/Ag-TiO<sub>2</sub> + O<sub>3</sub> advanced oxidation treatment*. Bioresource Technology, 9838-9842.
- Wu, Donghai, You Hong, Zhang, Ran, Zhang, Chen, Chuan & Lee, Duu-Jong. 2011. *Inactivation of Amphidinium sp. in ballast waters using UV/Ag-TiO<sub>2</sub> + O<sub>3</sub> advanced oxidation treatment*. Bioresource Technology, 9838-9842.

### ➤ **Komponen Utama Penyusun Prototipe**



### ➤ **Material Penyusun Prototipe**

- Plat Galvanis



Plat galvanis digunakan untuk membuat tangki penampung air balas. Plat galvanis yang digunakan memiliki ketebalan 1.2 mm.

- Besi siku



Besi siku digunakan untuk membuat kerangka prototipe. Besi siku yang digunakan memiliki spesifikasi 4 cm x 4 cm

- Besi Piringan



Besi piringan digunakan untuk membuat flange pada reaktor ultraviolet. Besi piringan yang digunakan memiliki diameter 5 inch

- Pipa Galvanis



Pipa galvanis digunakan untuk membuat tabung reaktor ultraviolet. Pipa galvanis yang digunakan memiliki ketebalan 4 inch atau 10,16 cm, dan panjang 56 cm.

- Pipa galvanis  $\frac{3}{4}$  inch



Pipa galvanis digunakan untuk membuat saluran air dan penghubung setiap komponen pada prototipe. Pipa galvanis yang digunakan memiliki diameter  $\frac{3}{4}$  inch.

- Napple



Napple digunakan untuk menghubungkan media penghubung pada sistem perpipaan. Napple yang digunakan memiliki diameter  $\frac{3}{4}$  inch

- Elbow



Elbow digunakan untuk membuat belokan pada instalasi perpipaan. Elbow yang digunakan memiliki diameter  $\frac{3}{4}$  inch dan derajat lengkung  $90^0$

- Union



Union digunakan sebagai sambungan antara dua buah pipa. Union yang digunakan memiliki diameter  $\frac{3}{4}$  inch.

- Ball Valve



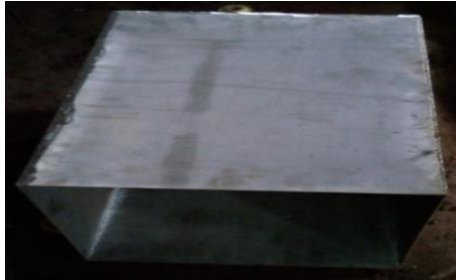
Ball valve digunakan untuk mengatur debit air balas yang masuk ke dalam sistem filtrasi dan reaktor ultraviolet. Ball valve yang digunakan memiliki diameter  $\frac{3}{4}$  inch

### **Perakitan Prototipe**

- Pembuatan Tangki Air Balas



Gambar Plat galvanis



Gambar Pembuatan tangki air balas



Gambar Pendempulan tangki air balas

- Pembuatan Rangka



Gambar Besi siku



Gambar Pembuatan rangka prototipe



Gambar Perakitan Rangka prototipe dan tangki balas

- Pembuatan Reaktor UV



Gambar Reaktor UV dengan flange



Gambar Pembuatan inlet dan outlet reaktor UV



Gambar Pembuatan sambungan inlet dan outlet reaktor UV





Gambar Flange lampu UV

- Perakitan Prototipe



Gambar Pembuatanudukan reaktor UV



Gambar Pemasangan flow meter dan housing filter

- Pengecatan Prototipe



Gambar Prototipe ballast water treatment setelah pengecatan

## **Analisa Kuantitatif Mikroba Air Patogen Menggunakan Metode TPC**



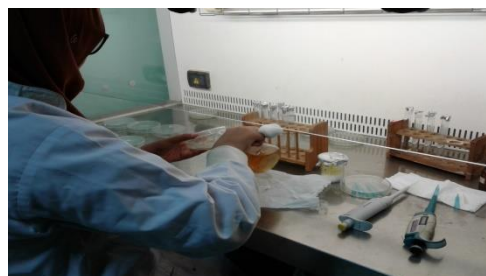
Gambar pengenceran medium agar media penumbuh bakteri



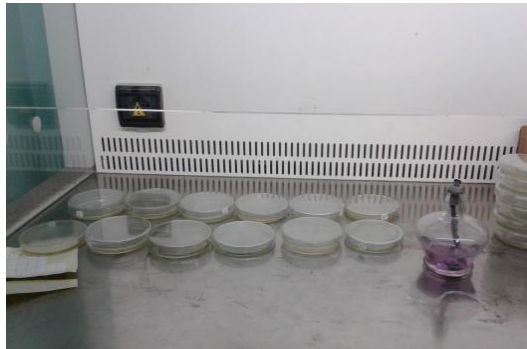
Gambar Peletakan sampel air laut 0,1 ml ke dalam tabung reaksi yang berisi 9,9 ml air laut steril



Gambar sampel air pada pengenceran 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup>



Gambar Petelakan natrium agar sebagai medium penumbuh bakteri ke dalam cawan petri yang berisi sampel air laut



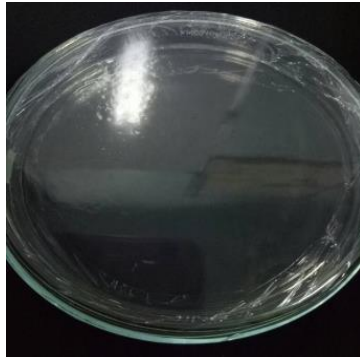
Gambar sampel air laut pada media penumbuh natrium agar dalam cawan petri



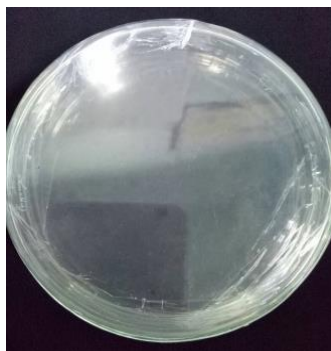
Gambar pengamatan mikroba air patogen dalam sampel air balas pada alat colony counter

**Analisa Kuantitatif Mikroba Pada Sampel Air Laut Menggunakan Metode TPC dengan Pelarut Larutan Aquades**

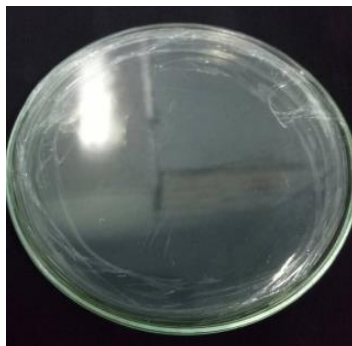
- Pengolahan dengan filtrasi Karbon dan penyinaran UV 7,10 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm

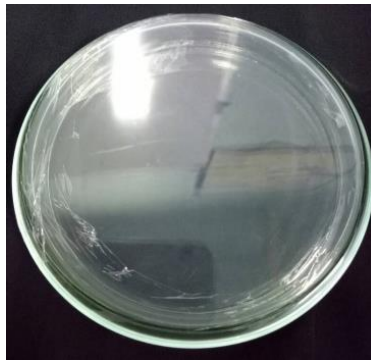


Debit 10 lpm

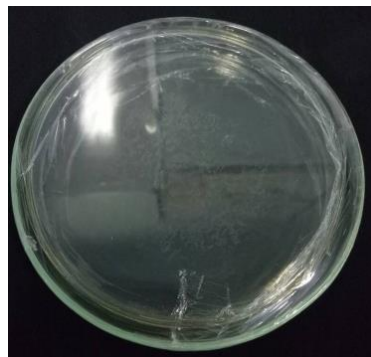


Debit 20 lpm

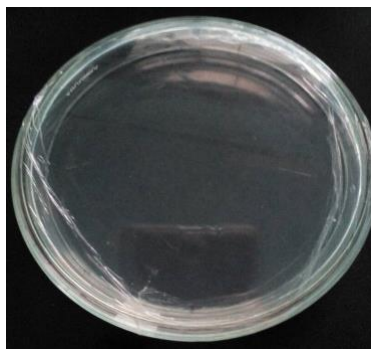
- Pengolahan dengan filtrasi Karet Remah dan penyinaran UV 7,10 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm

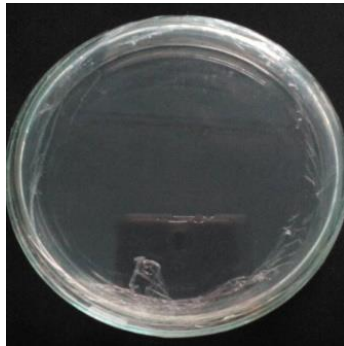


Debit 10 lpm

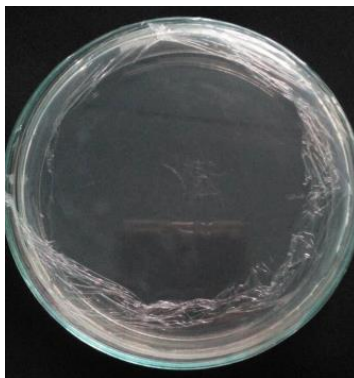


Debit 20 lpm

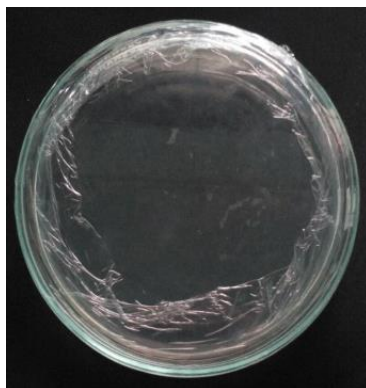
- Pengolahan dengan filtrasi karbon dan penyinaran UV 14,20 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm

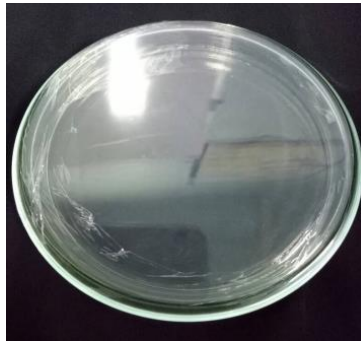


Debit 10 lpm

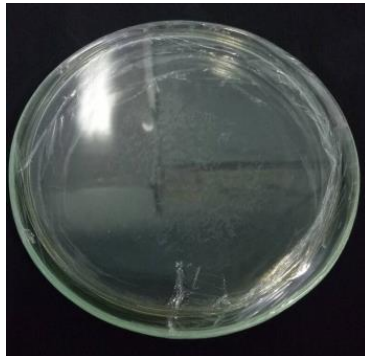


Debit 20 lpm

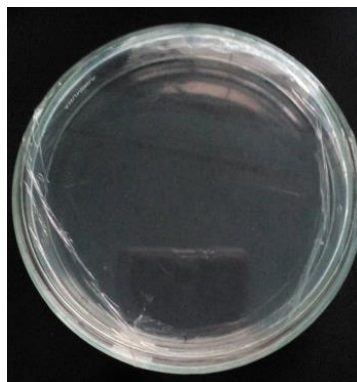
- Pengolahan dengan filtrasi Karet Remah dan penyinaran UV 14,20 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm



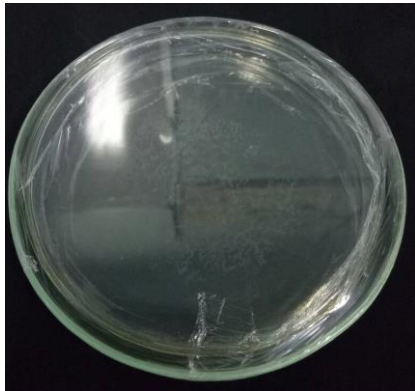
Debit 10 lpm



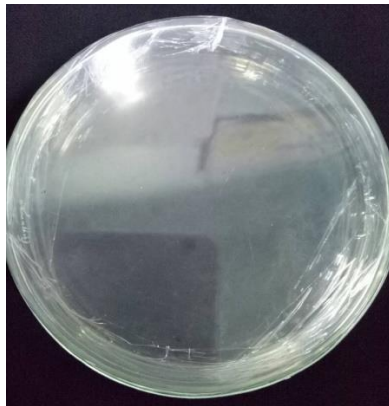
Debit 20 lpm



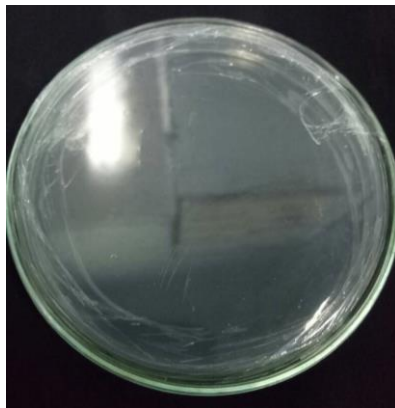
- Pengolahan dengan filtrasi Karbon dan penyinaran UV  $16,58 \text{ mW/cm}^2$



Debit 5 lpm

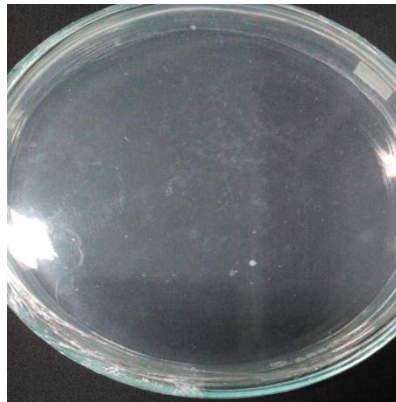


Debit 10 lpm

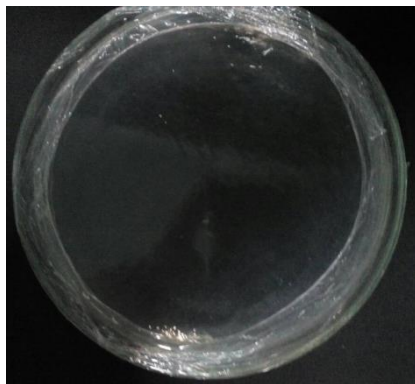


Debit 20 lpm

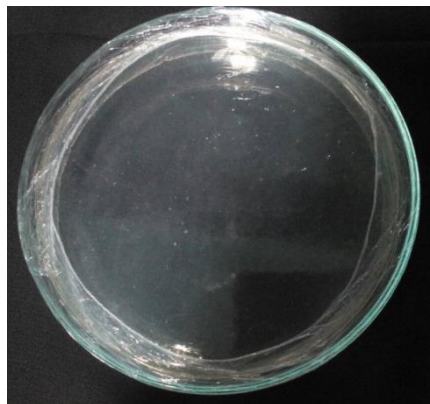
- Pengolahan dengan filtrasi Karet remah dan penyinaran UV 16,58  $\text{mW/cm}^2$



Debit 5 lpm



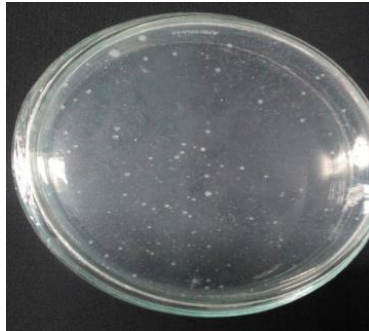
Debit 10 lpm



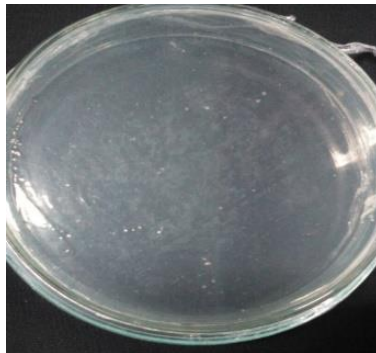
Debit 20 lpm

**Analisa Kuantitatif Mikroba Pada Sampel Air Laut Menggunakan Metode TPC dengan Pelarut Air Laut Steril**

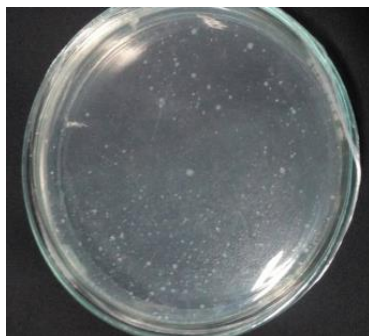
- Pengolahan dengan filtrasi Karbon dan penyinaran UV 7,10 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm

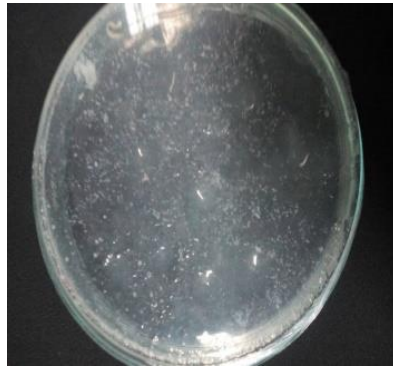


Debit 10 lpm

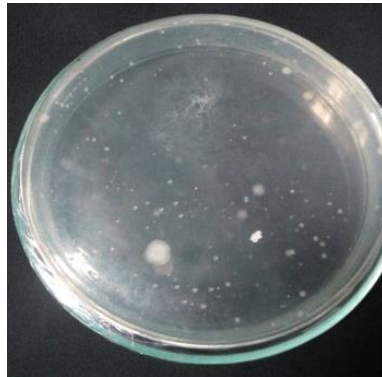


Debit 20 lpm

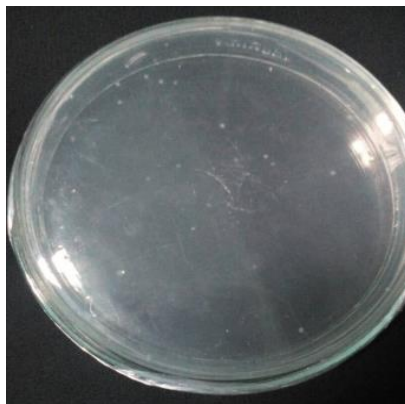
- Pengolahan dengan filtrasi karet remah dan penyinaran UV 7,10 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm

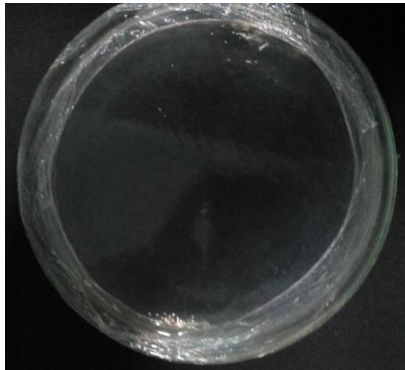


Debit 10 lpm

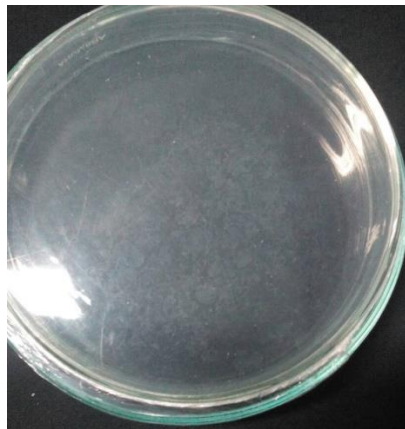


Debit 20 lpm

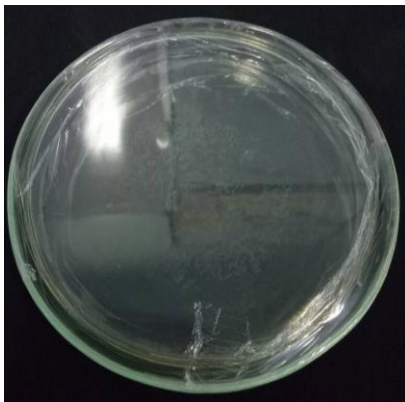
- Pengolahan dengan filtrasi Karbon dan penyinaran UV 14,20 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm

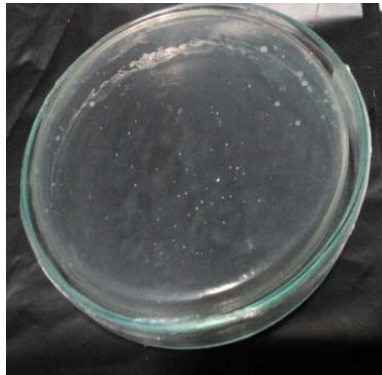


Debit 10 lpm

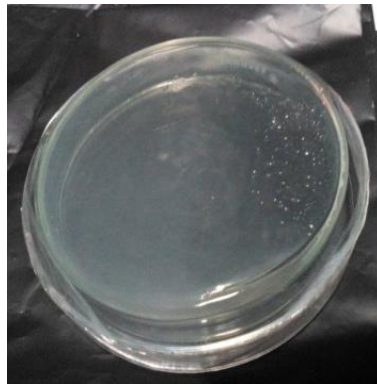


Debit 20 lpm

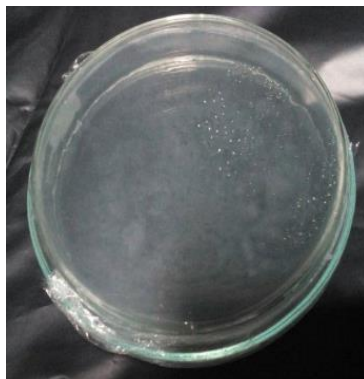
- Pengolahan dengan filtrasi Karet Remah dan penyinaran UV 14,20 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm

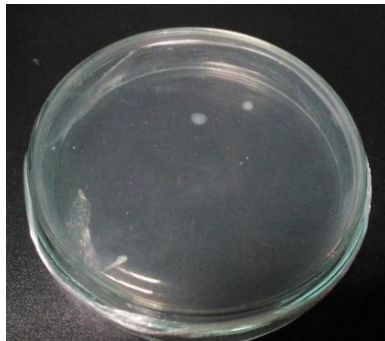


Debit 10 lpm

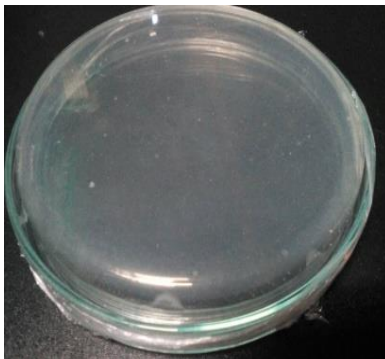


Debit 20 lpm

- Pengolahan dengan filtrasi Karbon dan penyinaran UV 16,58 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm



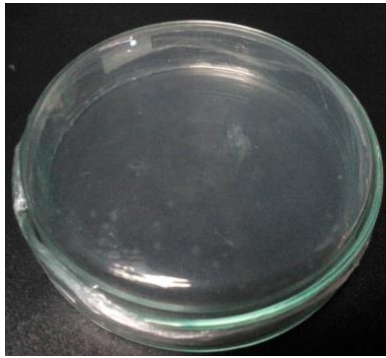
Debit 10 lpm



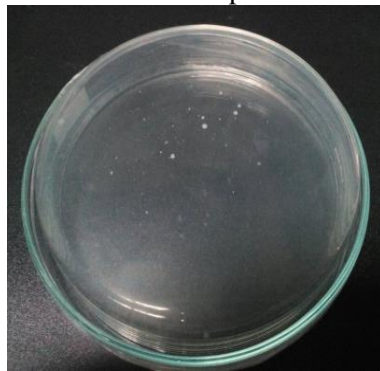
Debit 20 lpm



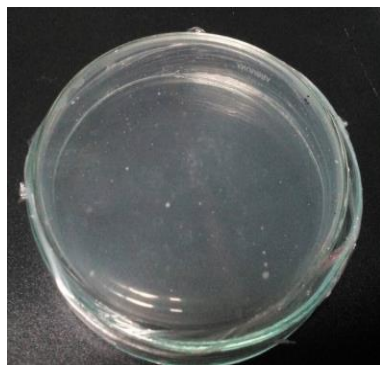
- Pengolahan dengan filtrasi karet remah dan penyinaran UV 16,58 mW/cm<sup>2</sup>



Debit 5 lpm



Debit 10 lpm



Debit 20 lpm



## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Tulungagung pada tanggal 15 Desember 1994, anak pertama dari Bapak Winarto dan Ibu Marganingsih. Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Pulosari tamat pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Ngunut tamat pada tahun 2010 dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Boyolangu tamat pada tahun 2013. Lulus dari SMA pada tahun 2013 penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Fakultas Teknologi Kelautan, Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Selain memfokuskan diri dalam pengembangan intelektual, selama perkuliahan penulis aktif mengikuti program pengembangan kepribadian khususnya dalam bidang kepemimpinan seperti mengikuti pelatihan Beasiswa Indofood Sukses Makmur (BISMA) Leadership Camp dan keorganisasian seperti BEM Fakultas Teknologi Kelautan pada tahun 2014-2015 sebagai staf departemen kominfo, Forum Mahasiswa Tulungagung Se-Surabaya pada tahun 2013-2016 sebagai ketua umum dan Paguyuban Karya Salemba Empat ITS pada tahun 2014-2017 sebagai kepala divisi kominfo.

Pada akhir masa perkuliahan penulis berkesempatan mengikuti program Penelitian Pengembangan Prototipe yang bekerjasama dengan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Indonesia. Dari program ini penulis dan tim dapat menyelesaikan penelitian awal pengembangan alat pengolah air balas kapal yang kemudian dituliskan dalam tugas akhir ini dengan judul “Pengembangan Prototipe Sistem Pengolahan Air Balas Dengan Menggunakan Aplikasi Filtrasi Karet Remah Dan Radiasi Sinar Uv”.